

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ciencias

**Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y
Telecomunicaciones**



TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO DE ANTENAS
PARA MEJORAR LA RED MÓVIL EN EL INTERIOR DE
CENTROS COMERCIALES DE PIURA”**

Presentado por:

Br. Klisman Paúl Cruz Alberca

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y
TELECOMUNICACIONES**

**Línea de investigación: Informática, Electrónica y
Telecomunicaciones**

Sub Línea de Investigación: Comunicaciones

Piura - Perú

Año 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y

Telecomunicaciones



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO DE ANTENAS PARA
MEJORAR LA RED MÓVIL EN EL INTERIOR DE CENTROS
COMERCIALES DE PIURA”**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez
ASESOR

Br. Klisman Paúl Cruz Alberca
AUTOR

Piura - Perú

Año 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE LA TESIS

Yo Klisman Paúl Cruz Alberca, con DNI N° 71530573, Bachiller de Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de Ciencias y domiciliado en la calle Cajamarca N° 221, Distrito de Huancabamba, Provincia de Huancabamba, Departamento de Piura.



Celular: 969238557

Email: kpool-08@hotmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es auténtica e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, Abril del 2019


Bach. Klisman Paúl Cruz Alberca

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación a hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y

Telecomunicaciones




**“DISEÑO DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO DE ANTENAS PARA
MEJORAR LA RED MÓVIL EN EL INTERIOR DE CENTROS
COMERCIALES”**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES


Ing. Franklin Barra Zapata MSc.
PRESIDENTE


Ing. Juan Manuel Jacinto Sandoval MSc.
SECRETARIO


Ing. Mario Augusto Ramos Echevarría
VOCAL

Piura - Perú

Año 2019

Acta de Sustentación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE CIENCIAS



"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

ACTA DE SUSTENTACIÓN 023-2019-UI-FC-UNP

FACULTAD DE CIENCIAS

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada "DISEÑO DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO DE ANTENAS PARA MEJORAR LA RED MÓVIL EN EL INTERIOR DE CENTROS COMERCIALES DE PIURA", presentado por el Señor Bachiller CRUZ ALBERCA KLISMAN PAUL, con el asesoramiento del Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez; oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, lo declaran:

APROBADO (X)

DESAPROBADO ()

Con la mención de:

MUY BUENO

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES.

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES; después que el sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.

Piura, 27 de abril del 2019.

Ing. FRANKLIN BARRA ZAPATA, MSc.
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS

Ing. JUAN MANUEL JACINTO SANDOVAL, MSc.
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS

Ing. MARIO AGUSTO RAMOS ECHEVARRÍA
VOCAL DE JURADO DE TESIS



Campus Universitario - Urb. Miraflores S/N. Castilla
PIURA - PERU

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico este presente trabajo a mis padres, Dévora y Nepalí, por ser un pilar fundamental, haberme forjado buenos valores y darme ejemplos dignos de superación y entrega, muchos de mis logros se los debo a ustedes incluyendo este.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios Todo poderoso por tener con salud a mis padres, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi formación profesional.

Al Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez por haber depositado su confianza en mí, y haberme guiado con la elaboración de esta tesis. A veces en la elaboración de proyectos surgen muchas circunstancias que nos prolongan el tiempo y sin su apoyo incondicional y sus consejos, no se hubiera hecho una realidad este trabajo.

A mis padres Dévora Alberca García y Jesús Nepalí Cruz Guerrero, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar en mí y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por su apoyo incondicional y sobre todo que han estado en los buenos y malos momentos cuando más los he necesitado, gracias maestros, son los mejores, el logro también es de ustedes.

Por último, dar gracias a mis hermanas Tany y Danixa, a mi tío Héctor Cruz, demás familia y amigos(as), por el apoyo que siempre me brindaron cada día, y que han contribuido a lo largo de mi formación profesional

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

La generalización del uso del teléfono móvil es uno de los fenómenos sociales que más ha cambiado la calidad de vida de millones de personas al permitir la comunicación en infinidad de aspectos y situaciones. Durante la última década, el teléfono móvil se ha convertido en herramienta indispensable para los negocios, el comercio y la sociedad en general y lo más importante, permite solucionar rápidamente situaciones de emergencia como localización de personas extraviadas o peticiones de ayuda en accidentes. Cabe destacar, para el caso concreto de Perú que, durante los últimos años, el sector de las comunicaciones móviles ha sido el de mayor capacidad inversora y el de mayor capacidad generadora de empleo y de cohesión social.

La telefonía móvil es posible gracias a una extensa red de antenas convenientemente distribuidas que permiten recibir y realizar llamadas desde cualquier teléfono móvil. La comunicación entre las antenas y los terminales se establece mediante señales de radio que son ondas electromagnéticas similares a las que emplean las emisoras de radio y televisión.

En muchas de nuestras actividades diarias empleamos diversas tecnologías que también emplean ondas electromagnéticas de diversos tipos, como hornos microondas, la radio y la televisión mencionados anteriormente etcétera. Incluso hay en la naturaleza diversas fuentes emisoras de ondas electromagnéticas como la luz del sol o los rayos cósmicos.

En ese sentido en esta investigación se propone diseñar una red de distribución adecuada de antenas dentro de los centros comerciales para lograr obtener mayor cobertura del servicio de telefonía móvil, dando mayor acceso a los usuarios asistentes a los centros comerciales, potenciando así el crecimiento dentro de los mismos con la acogida de gran número de personas.

Palabras clave: Telefonía, antenas, comunicaciones, tecnología, ondas electromagnéticas.

ABSTRACT

The generalization of mobile phone use is one of the social phenomena that has changed the quality of life of millions of people, allowing communication in countless aspects and situations. During the last decade, the mobile phone has become an indispensable tool for business, commerce and society in general and, most importantly, it allows quickly solving emergency situations such as locating lost people or requesting help in accidents. It should be noted, for the specific case of Peru, that during the last few years, the mobile communications sector has been the one with the greatest investment capacity and the one with the greatest capacity to generate employment and social cohesion.

Mobile telephony is possible thanks to an extensive network of conveniently distributed antennas that allow receiving and making calls from any mobile phone. The communication between the antennas and the terminals is established by radio signals that are electromagnetic waves similar to those used by radio and television stations.

In many of our daily activities we employ various technologies that also employ electromagnetic waves of various types, such as microwave ovens, radio and television mentioned above and so on. There are even in nature various sources emitting electromagnetic waves such as sunlight or cosmic rays.

In this sense, this research intends to design a network of adequate distribution of antennas within the shopping centers to achieve greater coverage of the mobile telephony service, giving greater access to the users attending the shopping centers, thus promoting growth within the same with the reception of a large number of people.

Keywords: Telephony, antennas, communications, technology, electromagnetic waves.

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN	14
I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	16
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	16
1.2. Definición del problema	17
1.3. Formulación del problema de investigación	17
1.4. Justificación e importancia de la investigación	18
1.4.1. Justificación de la investigación	18
1.4.2. Importancia de la investigación	18
1.5. Objetivos de la investigación	19
1.5.1. Objetivo general	19
1.5.2. Objetivos específicos.....	19
1.6. Delimitación de la investigación.....	19
II. MARCO TEORICO	20
2.1. Antecedentes de la investigación	20
2.2. Bases teóricas.....	22
2.2.1. Sistema Distribuido de Antenas	22
2.2.2. Propagación de Radiofrecuencia	24
2.2.3. Tecnologías Comunicación Móvil.....	25
2.2.4. RF Indoor.....	28
2.2.5. Redes Telefónicas en Perú.....	29
III. MARCO METODOLÓGICO	33
3.1. Enfoque.....	33
3.2. Diseño	33
3.3. Nivel.....	33
3.4. Tipo.....	33
3.5. Sujetos de la investigación.....	33
3.6. Métodos y procedimientos.....	34
3.7. Técnicas e Instrumentos.....	34
3.8. Aspectos éticos.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1. Análisis de la demanda en el departamento de Piura.....	36
4.1.1. Ubicación del departamento de Piura.....	36
4.1.2. Población	37
4.1.3. Recursos Económicos.....	38
4.1.4. Población Urbana y Rural.....	38

4.1.5.	Indicadores Socio - Económico.....	40
4.1.6.	Estudio de mercado	41
4.1.6.1.	Penetración de los servicios Públicos de Telecomunicaciones	41
4.1.6.2.	Situación del mercado peruano dentro de América Latina	42
4.1.6.3.	Empresas competidoras del sector Telecomunicaciones en el Perú	44
4.2.	Análisis del Proyecto	45
4.3.	Diseño de un Sistema distribuido de Antenas.....	46
4.3.1.	Zona de interés para el desarrollo del Proyecto.....	47
4.3.2.	Arquitectura de Red.....	48
4.3.3.	Análisis de los Costos.....	50
4.3.4.	Equipamiento Propuesto.....	51
4.3.5.	Esquema del diseño del sistema DAS	54
CONCLUSIONES.....		57
RECOMENDACIONES		58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		59
ANEXOS		62

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DAS	23
FIGURA 2. Propagación del RF.....	24
FIGURA 3. Evolución de la tecnología de Comunicación móvil celular	27
FIGURA 4. Distribución del RF Indoor	28
FIGURA 5. Red de telefonía en Perú	32
FIGURA 6. Departamento de Piura	36
FIGURA 7. Población censada urbana y rural	40
FIGURA 8. Penetración de la banda ancha fija y móvil en 2015	42
FIGURA 9. Número de hogares con acceso a internet por país, 2010 y 2015	43
FIGURA 10. Velocidades efectivas de conexión de banda ancha fija	43
FIGURA 11. Sistema Distribuido de Antenas en el centro comercial Open Plaza	47
FIGURA 12. Mapa de ubicación del centro comercial Open Plaza	47
FIGURA 13. Centro comercial Open Plaza, Piura	48
FIGURA 14. Arquitectura de Red GSM	49
FIGURA 15. Sistema Distribuido de Antenas	55
FIGURA 16. Sistema Distribuido de Antenas en el centro comercial Open Plaza	55
FIGURA 17. Antena Omnidireccional	56
FIGURA 18. Antena tipo panel	56
FIGURA 19. Splitter y acoplador respectivamente	56

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Frecuencias usadas por cada operador	29
TABLA 2. Clases y frecuencias de telefonía móvil más usadas en Perú	31
TABLA 3. Población de Piura.....	37
TABLA 4. Superficie y población de Piura 2011	37
TABLA 5. Población de Piura censada, urbana y rural y tasas de crecimiento	39
TABLA 6. Tasa de analfabetismo en Piura	40
TABLA 7. Servicios Públicos de Telecomunicaciones en Piura al 2016	41
TABLA 8. Suscriptores del Servicio de Internet Fijo por empresas en Piura.....	44
TABLA 9. Número de hogares con al menos un miembro que posee celular	46
TABLA 10. Precios de los equipos	50
TABLA 11. Costos de los materiales de construcción (en el mercado local).....	51
TABLA 12. Costos de los servicios de instalación	51
TABLA 13. Inversión total.....	51
TABLA 14. Potencias del sistema distribuido de antenas.....	53

PRESENTACIÓN

Debido a que nuestro mundo se vuelve cada vez más dependiente del servicio inalámbrico de voz y datos, mantenerse conectado tanto en espacios interiores como exteriores resulta fundamental. Aunque en la actualidad hay más torres inalámbricas que nunca, ciertos factores, como el consumo elevado, y las barreras físicas, como el vidrio de baja emisividad, pueden bloquear o degradar significativamente el servicio inalámbrico.

Para superar estos obstáculos, los sistemas de antenas distribuidas (DAS) se han convertido en la solución ideal para satisfacer las necesidades de mayor capacidad de datos y brindar cinco barras de servicio continuo. Los sistemas DAS son una red de antenas de alta y baja potencia distribuidas en todo un edificio o campus para mejorar el desempeño de la red tanto en espacios interiores como exteriores.

Como parte del desarrollo de empresas y cada vez más demandantes entornos que requieren mantener comunicación entre industrias, personas y ahora hasta máquinas, con el fin de buscar mejoras en la producción y en las comunicaciones personales, también con fines de entretenimiento, así como de seguridad, entre otros, las telecomunicaciones juegan un papel prioritario en el desarrollo de cualquier país.

Sin embargo, los recursos de las empresas proveedoras de servicios celulares relacionados con la mejora de la cobertura, en muchos casos no pueden cumplir con las demandas de servicio y el crecimiento de nuevas áreas o espacios donde existe gran concurrencia de personas, lo cual hace que tengan la necesidad de estar comunicados.

Como resultado a esta necesidad de cubrir las deficiencias en la cobertura ofrecida por los diferentes operadores, nace el concepto de DAS (Sistema de Antenas Distribuidas).

El concepto de extender cobertura celular dentro de edificios, centros comerciales, estadios, aeropuertos, centros de convenciones, oficinas, plantas de manufactura, etc., cada vez se vuelve mucho más necesaria y prioritaria, no sólo para incrementar la productividad, sino por cuestiones de manejo más eficiente del tiempo, al igual que los temas de seguridad pública, entre muchos otros.

El mundo moderno requiere que las personas se mantengan en constante comunicación, en un futuro cercano se prevé una integración y automatización entre diferentes máquinas que engloba el concepto IoT (Internet de las cosas).

Otra razón por la cual surgió el concepto DAS, fue que se obtuviera una forma con mayor eficiencia de cubrir espacios de particular interés dentro de edificios, ya que de otra manera las señales de los teléfonos celulares provenientes del exterior se veían atenuadas por las estructuras de concreto, acero y otros elementos que hacen que la cobertura se afecte de manera considerable, teniendo como resultado la ausencia de comunicaciones dentro de las instalaciones.

En ese sentido en esta investigación se propone diseñar un sistema distribuido de antenas para lograr mejorar la red móvil en el interior de los centros comerciales del departamento de Piura.

I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La razón es que muchos centros comerciales están revestidos de paneles de acero, y tienen muy pocas ventanas. Las ondas de radio no pueden penetrar a través de los paneles de acero. Estos actúan como una jaula de Faraday. (Stelladoradus, 2018)

Sin embargo, la gente realmente necesita utilizar sus teléfonos móviles en los centros comerciales. Para los clientes, ir de compras puede ser un entretenimiento, y estar en contacto unos con otros, llamar, sms, navegar por internet, etc., es parte de la diversión. Para los empleados puede ser muy importante estar en contacto; muchos empleados tienen que hacer malabarismos para combinar el trabajo con las obligaciones domésticas, y estar localizable en caso de emergencia puede ser muy importante (cualquiera que tenga hijos en edad escolar habrá tenido alguna experiencia de este tipo). (Stelladoradus, 2018)

Dado que hay tanta gente en un centro comercial, está claro que habrá en funcionamiento teléfonos de todas las operadoras. Por lo tanto, cualquier solución al problema de mala cobertura de telefonía móvil tiene que abarcar a todas las operadoras. No es factible pedirle a la gente que contrate un servicio o que tenga que utilizar un password: el servicio tiene que funcionar sin problemas cuando cualquier cliente pase del exterior al interior del centro comercial. (Stelladoradus, 2018)

Una buena solución para este problema es un repetidor de telefonía móvil de banda ancha. Esta toma las potentes señales de telefonía móvil del exterior del edificio, las amplifica, y después retransmite las señales con mayor potencia en el interior, utilizando antenas de interior. La antena exterior se puede colocar en el tejado del centro comercial; este es un buen emplazamiento para este tipo de antenas, ya que los tejados de los centros comerciales suelen ser altos y, por tanto, reciben buenas y potentes señales de telefonía móvil. (Stelladoradus, 2018)

El departamento de Piura cuenta con 4 centros comerciales. En ese sentido en esta investigación se propone diseñar una red adecuada de distribución de antenas dentro de los centros comerciales para lograr llegar con el principal servicio de telecomunicaciones (Red Móvil) del departamento de Piura y de esta forma reducir la brecha tecnológica que todavía existe en dichos centros comerciales de la provincia.

1.2. Definición del problema

La problemática radica en la necesidad de buscar soluciones alternas para llevar los servicios de telecomunicaciones de la Red Móvil, en zonas de cobertura baja dentro de los centros comerciales de Piura, como es el caso de los centros comerciales Plaza del Sol, Open Plaza, Plaza de la Luna y Real Plaza, ubicados en el departamento de Piura.

Una solución probablemente será necesario tener varias antenas interiores. Stelladoradus fabrica un amplificador muy apropiado, que combina 4 antenas interiores. Dependiendo de la potencia de la señal exterior, y de dónde se coloquen las 4 antenas interiores, puede llegar a cubrir hasta 4000 m². Si fueran necesarias más de 4 antenas interiores, se pueden utilizar splitters para dividir la señal y así poder utilizar más antenas interiores. Como alternativa, también se podría utilizar un segundo o incluso un tercer amplificador. (Stelladoradus, 2018)

1.3. Formulación del problema de investigación

¿Será posible diseñar un sistema distribuido de antenas para mejorar la red móvil en el interior de centros comerciales para el departamento de Piura?

1.4. Justificación e importancia de la investigación

1.4.1. Justificación de la investigación

Las comunicaciones móviles se han convertido en un factor importante e imprescindible en el desarrollo de la sociedad. Ha tenido un incremento exponencial en los últimos años. Actualmente, el problema de inconformidad de cobertura móvil en espacios Indoor se está manifestando con más frecuencia debido a las limitaciones en el despliegue de infraestructura, el incremento de tráfico en ambientes Indoor, espacios altamente densos; debido a esto se hace necesario establecer nuevas soluciones que satisfagan el problema de cobertura y capacidad de las redes celulares. (Jaimes, 2016)

Debido al incremento potencial de usuarios en lugares donde se tiene una alta concentración de estos, se requiere implementar una solución que satisfaga las necesidades móviles en cuanto a calidad de llamadas y red de datos móviles. De implementarse este proyecto podrá atenderse de los servicios de red móvil a aquellos centros comerciales del departamento de Piura, con lo cual cambiaría la realidad problemática de dicho departamento a través de la implementación de un sistema distribuido de antenas.

1.4.2. Importancia de la investigación

Esta investigación es importante ya que es un proyecto bastante viable, debido a que esta distribución de antenas cuenta con un diseño apropiado para los centros comerciales instalados en Piura. Además, contribuye al conocimiento ya que será de interés para que los diferentes operadores lo implementen.

En base a esta investigación, se procederá a diseñar un Sistema distribuido de Antenas para la Red Móvil que satisfaga a los clientes que acuden a los diferentes centros comerciales del departamento de Piura.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un sistema distribuido de Antenas para mejorar la red móvil dentro de los diferentes centros comerciales del departamento de Piura.

1.5.2. Objetivos específicos

- Diseñar una red de distribución adecuada que garantice el funcionamiento de las redes móviles.
- Ejecutar el análisis de costos a partir del diseño con el fin de obtener la viabilidad para la implementación del proyecto.
- Evaluar el análisis financiero del presente proyecto.

1.6. Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación se realizará en los diferentes centros comerciales, perteneciente al departamento de Piura durante el segundo semestre del año 2018. Para el estudio se considerarán algunos centros comerciales del departamento con mayor demanda.

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En la actualidad se han realizado algunas investigaciones ejecutadas sobre el tema a nivel nacional y en diversos países del mundo, como las siguientes:

Minaya Barrera Pablo (2014) en su tesis titulada “Diseño e implementación de un sistema distribuido de antenas para la red móvil en el interior de centros comerciales” de la Escuela de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería nos dice:

El presente trabajo describe el diseño e implementación de una red RF Indoor ubicada en el interior del Centro Comercial Jockey Plaza con la finalidad de solucionar los problemas de cobertura de señal del servicio de telefonía móvil tanto para la tecnología 3G, así como también incluir cobertura del servicio móvil 4G dentro del centro comercial. En este trabajo se presenta un estudio técnico y económico para el diseño de un sistema distribuido de antenas que permite suministrar cobertura del servicio móvil en el interior del edificio principal del Centro Comercial, en la construcción comprendida entre las tiendas por departamento Ripley en el extremo Este y las tiendas por departamento Saga Falabella en el extremo Oeste. Para tal efecto, se presenta un análisis del problema de cobertura en dicha zona, a través de mediciones de cobertura de señal dentro de la edificación ubicando los puntos con mayor deficiencia de señal móvil. El presente trabajo también explica la metodología para el diseño, selección de equipamiento, instalación, montaje, configuración y puesta en operación, además de la estructura de costos y del cronograma de trabajos. Finalmente, en base del análisis realizado, se presentan las conclusiones y se proponen recomendaciones a futuro pertinentes.

Campodónico Durango Giovanni Gabriel en su tesis titulada “Diseño de un sistema distribuido de antenas celulares para el túnel del cerro el Carmen de Guayaquil utilizando cable SCTP cat 5/6 para la banda GSM 850 MHz” nos dice:

El proyecto presenta el diseño de un sistema distribuido de antenas basado en cable UTP (Par trenzado) para el túnel del cerro El Carmen de la ciudad de Guayaquil, cuya longitud es de 800 metros. En el primer capítulo, se realiza una breve introducción a la telefonía celular, revisando la historia de las comunicaciones inalámbricas, las generaciones de la telefonía móvil y se describen los elementos que utiliza un sistema de comunicación celular GSM. El segundo capítulo, se refiere a las generalidades básicas de los sistemas distribuidos de antenas; los diferentes tipos de soluciones Indoor, la clasificación de los DAS y una breve descripción de las características de propagación. El tercer capítulo, contiene los criterios de implementación de un proyecto de esta clase, las consideraciones en el diseño y sus requerimientos; así mismo las pruebas realizadas en el campo (Túnel) con un equipo (Antena y transmisor) que sustenta el diseño propuesto.

Ditzel Guerrero Sergio Andrés en su tesis titulada “Estudio Y Análisis Del Comportamiento De Rf En Espacios Edificados, In-Building” nos dice:

En este trabajo de titulación se realiza un análisis y estudio del comportamiento de la radio frecuencia (RF) en áreas edificadas, para ello se realizó un estudio exhaustivo de la red GSM, parámetros, elementos, arquitectura, canales lógicos y software de modelamiento de la red “PLANET”. Con respecto a las soluciones In-Building se explica en que consiste, el por qué se utiliza y cuando se debe implementar. Además, se explica las diferentes metodologías a implementar, dependiendo de: la morfología del edificio, equipos a instalar como: repetidores o micro celdas (BTS), tipos de antenas: panel, omnidireccional o yagi, DAS tipo coaxial o con fibra óptica. También se hace referencia a las mediciones de cobertura iniciales y finales (walk test), estas se hacen con dos teléfonos profesionales TEMS Ericsson T616 y un notebook con el software TEMS INVETICATION 6.11, con estas mediciones se realiza un análisis de niveles de potencia, canales que están presentes en el lugar (frecuencia) y niveles de interferencia (C/I), dependiendo de estas mediciones se plantea algún tipo de solución si existiesen problemas, en esta se proponen la ubicación de las antenas y equipos a utilizar mediante: planos con la distribución de los equipos y antenas a instalar, además de realizar un fotomontaje, diagramas unifilares de RF y

eléctrico y cálculo de ingeniería donde se calcula la potencia final de las antenas a instalar.

Vera Tudela Aldo Duarte en su tesis titulada “Diseño E Implementación De Una Red Rf Indoor En El Hospital De Emergencias Pediátricas Para Mejora De Cobertura” nos dice:

La presente tesis consiste en el diseño e implementación de una red RF Indoor al interior del Hospital de Emergencias Pediátricas con la finalidad de solucionar los problemas de cobertura de señal del servicio de telefonía móvil tanto para la tecnología 2G, así como también, la tecnología 3G. El trabajo se ha organizado de la siguiente forma: En el primer capítulo se presenta una introducción teórica al mundo de la telefonía móvil y a sus tecnologías, así como las consideraciones de optimización que se tienen en estas redes, presentando finalmente las distintas soluciones existentes para la mejora de cobertura en interiores. En el segundo capítulo se presenta el análisis y la arquitectura de la solución tras el estudio de la realidad y las variables que involucran el problema, elaborando los alcances de esta tesis. En el tercer capítulo se muestra el diseño de la solución e implementación de esta, en donde se presentan los resultados del diseño, las consideraciones de la instalación y el resultado físico de la instalación, así como un alcance económico de la puesta de la red. En el cuarto capítulo se prueba la red instalada para luego iniciar un plan de pruebas del sistema funcional cuyos resultados son analizados y comparados con los valores proyectados en el diseño.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistemas Distribuidos De Antenas

DAS, o sistemas de antenas distribuidas, es una tecnología que los proveedores de servicios inalámbricos utilizan para extender la cobertura a zonas difíciles de alcanzar. Originalmente destinado para aplicaciones de interior como estadios deportivos, centros de convenciones y hoteles, DAS ha sido una solución a los operadores móviles que buscan maneras de aumentar

la cobertura de la señal en los alrededores de grandes edificios, y aumentar la capacidad de respuesta a la popularidad de ancho de banda que consumen Smartphones. DAS es una colección de pequeñas antenas distribuidas en un área geográfica y conectados por fibra a una estación base central. En lugar de las antenas de montaje encima de una torre, las antenas se montan dentro de los edificios o al aire libre a una altura mucho más cortos, a menudo bastante lejos de la estación base. DAS se ha convertido en una solución de moda en lugares con restricciones de zonificación estrictas, ya que las antenas del DAS discretos son más agradables estéticamente que las torres de macro. (Jaimes, 2016)

El sistema básico DAS consiste en una estación base central (BTS) conectadas por cable de fibra óptica a múltiples nodos, o de los sitios de antena. El sistema DAS puede ser propiedad de la operadora de telefonía móvil o por una tercera parte que proporciona la red para múltiples operadores. En el último ejemplo, el tercero construye un hotel BTS o sitio neutral, que contiene el equipo de cabecera DAS, espacio para estaciones base de múltiples operadores, la conexión a una torre de macro si uno se encuentra en el lugar, y el poder para ejecutar todos los equipos. También construye la red de fibra e instala nodos en sitios estratégicamente ubicados.

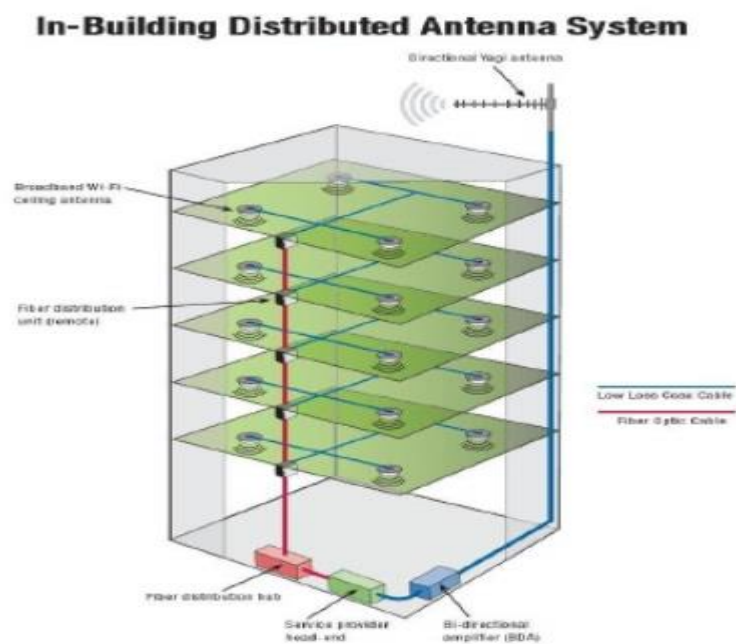


Figura N° 01: DAS

Fuente: Sistema de antenas distribuidas (DAS) (Ronny Alborno, 2018)

2.2.2. Propagación De Radiofrecuencia

Las ondas de radio son ondas electromagnéticas que poseen una componente eléctrica y una componente magnética y como tales, están expuestas a ciertos fenómenos los cuales son capaces de modificar el patrón de propagación de las ondas.

En condiciones especiales y con una atmósfera uniforme, las ondas de radio tienden a desplazarse en línea recta, esto quiere decir que siempre que haya una línea de vista entre el emisor y el receptor, este tipo de comunicación será bastante eficiente, pero si se requiere de una comunicación de un punto a otro, el cual se encuentra más allá del horizonte, tendremos que tomar en cuenta las distintas condiciones de propagación y las adecuadas frecuencias para su correcta comunicación.

No se podría hablar de comunicación por medio de ondas de radio a grandes distancias si no se toman ciertos fenómenos en cuenta como lo son la refracción, reflexión, dispersión y difracción los cuales hacen posible la comunicación entre dos puntos más allá del horizonte. (Jaimes, 2016)



Figura N° 02: Propagación del RF

Fuente: Propagación del RF (Alejandro Romero, 2014)

2.2.3. Tecnologías Comunicación Móvil

a. Primera Generación 1G

Los primeros sistemas 1G aparecieron en el mercado en 1979. Su expansión no fue, sin embargo, muy uniforme. Este primer estándar se identifica como telefonía analógica y dedicada exclusivamente a la voz.

La tecnología predominante de esta generación fue denominada AMPS (Advanced Mobile Phone System) en Estados Unidos, convirtiéndose en el primer estándar de telefonía móvil. (Jaimes, 2016)

b. Segunda Generación 2G

Las limitaciones del sistema de telefonía móvil de primera generación llevaron al desarrollo de un nuevo sistema (segunda generación) que se presentó a principios de la década de los 90. Este sistema se basó en introducir protocolos de telefonía digital que además de permitir más enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitían integrar otros servicios (que anteriormente eran independientes) en la misma señal, como es el caso del envío de mensajes de texto SMS (Short Message Service) y una mayor capacidad de envío de datos desde dispositivos de fax y módem.

c. Tecnología 3G

Las tecnologías de 3G son la respuesta a la especificación IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. En Europa y Japón se seleccionó el estándar denominado UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), basado en la tecnología W-CDMA. UMTS está gestionado por la organización 3GPP. La velocidad de datos para la que se diseñó la nueva infraestructura varía mucho dependiendo de la operadora que realiza el despliegue, la cobertura, así como si nos encontramos en baja o alta movilidad. En cualquier caso, se estipula un ancho de banda de entre 2 y 5Mbps en el mejor de los casos con la tecnología básica UMTS. Mejoras posteriores han

permitido superar ampliamente esta velocidad en evoluciones del sistema 3G, conocidas como HSPA (High-Speed Packet Access).

d. HSDPA (3.5G)

La tecnología HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), también denominada 3.5G, es la optimización de la tecnología radio de UMTS, que consiste en aumentar la velocidad de descarga (entre 7.2 y hasta 14,4 Mbps) mediante la incorporación de un nuevo canal compartido en el enlace descendente (downlink) y mejorando la técnica de modulación de la señal. En este sentido, se hace uso de un esquema de modulación y codificación que cambia en función de cada usuario, dependiendo de la calidad de la señal y el uso de células. (Jaimes, 2016)

e. Tecnología 4G

4G son las siglas utilizadas para referirse a la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Existe algo de confusión en relación con si la tecnología empleada actualmente para el despliegue de redes móviles de alta velocidad y sucesoras del 3G cumple con los requisitos para ser clasificada como 4G. En este sentido, LTE (Long Term Evolution) es un estándar de la norma 3GPP (proyecto de asociación de tercera generación) definida como un nuevo concepto de arquitectura evolutiva.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) creó un comité para aclarar los requisitos necesarios para que un estándar sea considerado de la generación 4G. Este comité es el IMTAdvanced. Entre los requisitos técnicos que se incluyen hay uno muy claro, las velocidades máximas de transmisión de datos que debe estar entre 100 Mbps para una movilidad alta y 1 Gbps para movilidad baja. El estándar LTE (Long Term Evolution) de la norma 3GPP, no es puramente 4G porque no cumple los requisitos definidos por la IMT-Advanced en características de velocidades pico de transmisión y eficiencia espectral. Aun así, la UIT declaró en 2010 que los candidatos a 4G, como era éste, podían publicitarse como 4G sin ningún problema. (Jaimes, 2016)

El reciente aumento del uso de datos móviles y la aparición de nuevas aplicaciones y servicios han sido las motivaciones por las que 3GPP desarrolla el proyecto LTE. De esta manera, se diseña un sistema capaz de mejorar significativamente la experiencia del usuario con total movilidad, que utiliza el protocolo de Internet (IP) para realizar cualquier tipo de tráfico de datos de extremo a extremo con una buena calidad de servicio (QoS) y, de igual forma el tráfico de voz, apoyado en Voz sobre IP (VoIP) que permite una mejor integración con otros servicios multimedia. (Jaimes, 2016)

f. Tecnología 5G

En telecomunicaciones, 5G son las siglas utilizadas para referirse a la quinta generación de tecnologías de telefonía móvil. Es la sucesora de la tecnología 4G. Actualmente se encuentra sin estandarizar y las empresas de telecomunicación están desarrollando sus prototipos. Está previsto su uso para 2020 aunque es de esperar un retraso en su despliegue, tal y como ha ocurrido con 4G. (Jaimes, 2016)

g. Interferencia Cocanal

La interferencia Cocanal se presenta en un sector dada la presencia de otro sector alejado transmitiendo a la misma frecuencia (clustering - reuso de frecuencia), cuya señal llega hasta la del primero generando ruido y disminuyendo la relación Carrier versus Interferencia (C/I). (Jaimes, 2016)

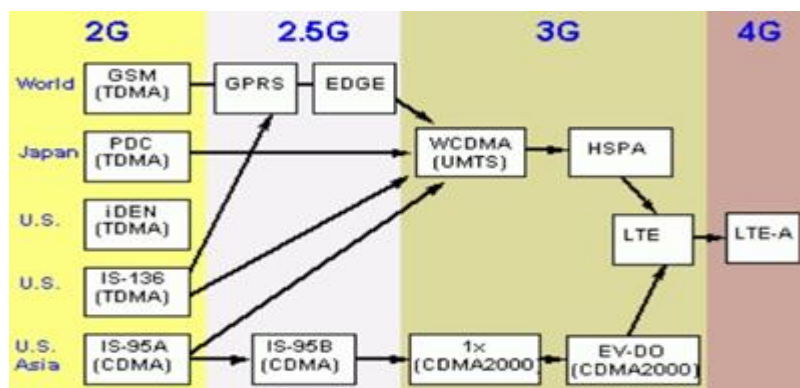


Figura N° 03: Evolución de la tecnología de Comunicación móvil celular

Fuente: Computer Desktop Encyclopedia (The Computer Language Co. Inc.)

2.2.4. RF Indoor

El denominado RF Indoor tiene el siguiente principio: se tiene un nodo B pero en lugar de irradiar su potencia a través de una gran antena se divide ésta y se irradia a través de pequeñas antenas a baja potencia con lo cual se puede controlar el área que se desea cubrir. En esta solución se tiene una BBU (Base Band Unit), la cual es la unidad de Banda Base que convertirá la señal entrante de las antenas a banda base, además de esto esta unidad tendrá funciones de control y señalización, ésta BBU es la misma unidad de banda base que se utiliza en el despliegue de macro celdas. La potencia suministrada por esta BBU es distribuida. (Aldo Vera, 2013)

La potencia de la BBU se lleva a través de fibra óptica o cable coaxial dependiendo el diseño y es dividida a través de splitters que dividirán la potencia y la distribuirán a las antenas que están por todo el edificio. Es preciso decir que antes de hacer esta división se debe pasar por un RRU (Remote Radio Unit) que ajusta la frecuencia que envía la BBU de banda base a la frecuencia en la que trabaja el operador. Una RRU puede soportar 18 antenas, por lo tanto, si el diseño de un edificio es muy grande se necesitará más de una RRU. Cada RRU define un sector de cobertura, esto quiere decir que mientras se esté bajo cobertura de las 18 antenas de una RRU el móvil en movimiento y cursando una llamada no se enterará que hay múltiples antenas, pero si se pasa a la cobertura de otra RRU se tendrá un handover puesto que se cambió de sector. En caso se utilice fibra óptica en el diseño se deberá adicionar un rectificador al lado de la BBU para evitar el deterioro de la señal óptica. (Aldo Vera, 2013)

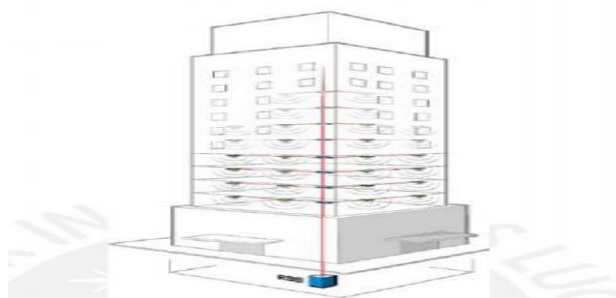


Figura N° 04: Distribución de RF Indoor

Fuente: Distribución de RF Indoor (LOF, 2011)

2.2.5. Redes Telefónicas en Perú

	Bitel	Claro	Movistar	Entel
2G	-	1900	850 1900	1900
3G	1900	850	850	1900
4G	900	2600 1900 700	1700/2100 700	1700/2100 700

Tabla N° 01: Frecuencias usadas por cada operador
Fuente: Frecuencias usadas por cada operador (Milo, 2013)

En el PERU en este momento existen las siguientes tecnologías celulares:

- 1G = iDEN: Utilizada por Entel (ex NEXTEL)
- 2G = GSM/GPRS/EDGE: Utilizada por Entel, Claro y Movistar
- 3G = UMTS(WCDMA)/HSDPA/HSPA+: Utilizada por Claro, Movistar, Entel y Bitel
- 4G = LTE FDD: Utilizada por Entel, Bitel, Claro y Movistar

Nótese que cada una de estas familias tecnológicas es independiente de la otra, eso quiere decir que pueden existir teléfonos que solo sean GSM o también solo iDEN o también solo UMTS, como también teléfonos que sean GSM + UMTS o iDEN + UMTS. (Milo, 2013)

Ya que son tecnologías independientes, quiere decir que, si un teléfono por más que tenga capacidad para 2 redes, si está en una red GSM, no podrá estar a la vez en un UMTS y viceversa, cada tecnología funciona independientemente de la otra. (Milo, 2013)

Por el mismo motivo, cada tecnología usa una frecuencia diferente y en el Perú las cosas son así:

- iDEN de Nextel funciona en 800Mhz (Obsoleto)
- GSM de Claro funciona en 1900 Mhz
- GSM de Movistar funciona en 1900 y 850 Mhz
- GSM de Entel funciona en 1900 Mhz

- UMTS(WCDMA)/HSPA de Claro funciona en 850 Mhz
- UMTS(WCDMA)/HSPA de Movistar funciona en 850 Mhz
- UMTS(WCDMA)/HSPA de Entel funciona en 1900 Mhz
- UMTS(WCDMA)/HSPA de Bitel funciona en 1900 Mhz
- LTE-FDD de Movistar funciona en 1700/2100 y 700 Mhz
- LTE-FDD de Entel funciona en 1700/2100 y 700 Mhz
- LTE-FDD de Claro funciona en 2600, 1900 y 700 Mhz
- LTE-FDD de Bitel funciona en 900 Mhz

Un teléfono que tiene 2 o más tecnologías puede ser totalmente funcional solo en una de ellas y no necesitar de la otra(s), que quiero decir, que, si solo se está en una red GSM, el teléfono será capaz de hacer llamadas, enviar SMS y navegar por internet, lo mismo si está en una red iDEN o en una red UMTS. En el caso de LTE, aun no existen redes autosuficientes, LTE si debe cambiar de tecnología a UMTS o GSM para poder manejar llamadas. (Milo, 2013)

La evolución de tecnologías se da básicamente por velocidad de transferencia de datos, por lo que tener un teléfono en UMTS nos brindara más velocidad de internet que tener ese mismo teléfono en GSM. Lo mismo si está en LTE, tendrá más velocidad que UMTS. (Milo, 2013)

Si piensan comprar un teléfono o una Tablet u algún otro dispositivo que use redes celulares, es importante notar que esta funcione con las frecuencias que se usan en el Peru, tanto en 2G como en 3G y 4G. (Milo, 2013)

Es importante:

GSM/GPRS/EDGE son una misma red, Si un teléfono es EDGE también será GPRS/GSM, que también son conocidas como redes 2G.

UMTS(WCDMA)/HSDPA/HSPA+ son una misma red, Si un teléfono es HSPA+, también será HSDPA/UMTS(WCDMA) que también son conocidas como redes 3G.

Pueden ver cualquiera de estos nombres, 3G o UMTS o WCDMA o HSDPA o HSPA+, todas estas tecnologías funcionan bajo la misma red, por lo tanto, en la misma frecuencia. Lo mismo sucede con 2G o GSM o GPRS o EDGE que también son la misma red. (Milo, 2013)

Cualquiera de los nombres antes mencionados puede ser tomados como referencia en las cajas, manuales o páginas de celulares/tablets/etc.

Otro detalle que resaltar es que desde la aparición de LTE es común encontrar los números de Clase (class) indicando las redes compatibles con cada equipo y eso confunde un poco a la hora de comprar, para tener un poco más claro el tema se muestra la siguiente tabla de correspondencia entre la clase y la frecuencia:

Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
1	2100	11	1500	21	1500
2	1900	12	700	22	3500
3	1800	13	700	23	2000
4	1700/2100	14	700	24	1500
5	850	15	1900/2600	25	1900
6	800	16	2000/2500	26	850
7	2600	17	700	27	850
8	900	18	850	28	700
9	1700	19	850	29	700
10	1700/2100	20	800	30	2300

Tabla N° 02: Clases y frecuencias de telefonía móvil más usadas en Perú
Fuente: Frecuencias/bandas Celulares en Peru (Milo, 2013)

Las líneas resaltadas en verde son las frecuencias LTE-FDD usadas en Peru, actualmente en uso la de Clase/Banda 4 (1700/2100) por Movistar y Entel, también Clase/Banda 2 (1900Mhz) usada por Claro. Sin embargo, con la reciente licitación se agregó la Clase/Banda 28 (700Mhz) que utilizaran Claro, Movistar y Entel. Finalmente, Claro utiliza también Clase/Banda 7 (2600 Mhz) gracias a la adquisición de OLO. (Milo, 2013)

Ojo que la tabla también puede ser utilizada para redes 2G y 3G, el número de clase es el mismo ya que se refiere a la frecuencia utilizada, en Perú por ejemplo utilizamos las redes Clase 2, Clase 5 y Clase 8 para 3G y 2G.

Las Clases, en algunas fuentes son también llamadas Bandas, así que es común encontrar la letra B seguida del número, entonces, los teléfonos 4G compatibles en PERU deben tener B2/B4/B7/B8/B28 (1900|1700|2100|2600|900|700). (Milo, 2013)



Figura N° 05: Red de telefonía en Perú

Fuente: Red de telefonía en Perú (Marcela Mendoza, 2017)

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque

- Enfoque mixto: Cuantitativo y Cualitativo.

3.2. Diseño

- Cuantitativo: No experimental.
- Cualitativo: Estudios de Caso.

3.3. Nivel

- Descriptivo y diseño.

3.4. Tipo

- Tipología Básica/Aplicada.

3.5. Sujetos de la Investigación

- Universo: Departamento de Piura - Perú.
- Población: Zonas residenciales urbanas en los que se encuentran los principales centros comerciales de Piura.
- Muestra: El sistema distribuido de antenas, desplegado en un centro comercial de la zona urbana en el departamento de Piura.

3.6. Métodos y Procedimientos

Los pasos que se seguirán en el desarrollo de la investigación, en cumplimiento de los objetivos específicos, son los siguientes:

- Realizar un estudio campo para analizar la situación problemática de los principales centros comerciales de Piura.
- Calcular la demanda potencial de los servicios de datos de banda ancha requeridos en los principales centros comerciales de Piura.
- Calcular la capacidad requerida para atender la demanda potencial de los servicios de datos de banda ancha requeridos en los principales centros comerciales de Piura.
- Diseñar el Sistema de distribución de Antenas para mejorar la Red Móvil para atender la demanda potencial requerida en cuanto a tecnología, equipamiento y factibilidad técnica.
- Recolección de información de penetración de las redes de fibra óptica, tanto del MTC como del OSIPTEL, INEI.
- Recolección de información de la demanda potencial de banda ancha en el departamento de Piura.

3.7. Técnicas e Instrumentos

- Técnicas de muestreo: Simple. Se seleccionó un número determinado de zonas urbanas donde se encuentran los centros comerciales de mayor interés de acuerdo con los Objetivos del Proyecto.
- Técnicas de recolección de datos: De gabinete. Todo el estudio se realizó en gabinete usando la información proporcionada por Instituciones Públicas.
- Instrumentos de recolección de datos: Revisión de información estadística de portales gubernamentales: INEI, MINEDU, MTC, OSIPTEL, INEI, entre otros.

- De análisis: Análisis estadístico y geográfico con Excel, Google Earth,
- Confiabilidad y validez de los instrumentos: La información es proporcionada por entes gubernamentales. Dicha información es confiable y válida, y por tanto no se requiere validación de algún especialista externo.

3.8. Aspectos Éticos

Para el desarrollo de la Tesis se siguieron los principios éticos de acuerdo con el marco legal vigente de la Universidad Nacional de Piura y los entes administrativos nacionales correspondientes.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la demanda en el departamento de Piura

4.1.1. Ubicación del departamento de Piura

Piura es un departamento del Perú situado al extremo noroeste del país. Con 35.892,49 km², la cual equivale al 2.79% del territorio total del Perú, este departamento está dividido en 8 provincias y tiene un total de 64 distritos: Piura (9 dist.), Ayabaca (10 dist.), Huancabamba (8 dist.), Morropón (10 dist.), Paíta (7 dist.), Sullana (8 dist.), Talara (6 dist.) y Sechura (6 dist.). Son 3 las principales ciudades de Piura: Piura con 436440 habitantes, con una tasa de crecimiento 2014-2015 de 1,42%, Sullana con 201302 habitantes, con una tasa de crecimiento 2014-2015 de 0,85% y Talara con 90830 habitantes, con una tasa de crecimiento 2014-2015 de 0,04%. (Ministerio de Salud, 2016)

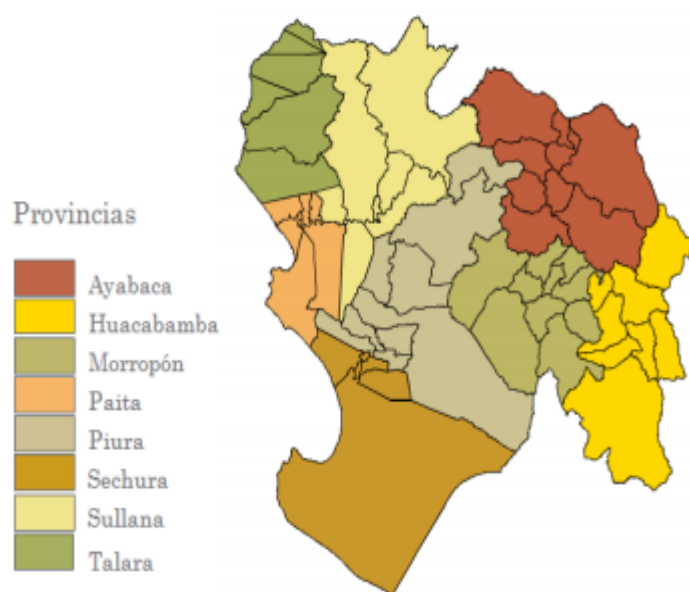


Figura N° 06: Departamento de Piura

Fuente: Departamento de Piura (Ministerio de Salud, 2016)

Provincia	Población 2016		Total Distritos
	Número	%	
PIURA	771 613	41,5	9
AYABACA	141 864	7,6	10
HUANCABAMBA	127 679	6,9	8
MORROPÓN	157 121	8,5	10
PAITA	130 925	7,0	7
SULLANA	319 937	17,2	8
TALARA	133 737	7,2	6
SECHURA	75 741	4,1	6
TOTAL	1 858 617	100	

Tabla N° 03: Población de Piura
Fuente: Población de Piura (Inei, 2016)

4.1.2. Población

Según las proyecciones poblacionales del INEI, en el año 2011 Piura contaba con una población de 1 784 551 habitantes (6,0 por ciento de total nacional), siendo la segunda región más poblada del país, después de Lima. En la ciudad capital (40,6 por ciento de la población departamental) se observa alta concentración. Su última tasa de crecimiento intercensal es del 1,3 por ciento anual. Casi las tres cuartas partes de su población es urbana y, según género, la distribución es equilibrada.

Provincia	Superficie (km ²)	Población 1/
Piura	6 211	724 230
Ayabaca	5 231	141 971
Huancabamba	4 254	127 623
Morropón	3 818	160 635
Paita	1 784	120 375
Sullana	5 424	306 882
Talara	2 799	133 250
Sechura	6 370	69 585
Total	35 891	1 784 551

Tabla N° 04: Superficie y población de Piura 2011
Fuente: Superficie y población de Piura 2011 (Inei, 2011)

4.1.3. Recursos Económicos

El departamento de Piura es un importante punto de desarrollo, tiene como principales actividades económicas: la agricultura, pesca, petróleo y el comercio. Los productos son producidos mayormente en los valles formados por los ríos Chira y Piura. El principal cultivo de la costa es el algodón, de gran demanda en el mercado extranjero. (Mónica Merino, 2017)

El departamento de Piura produce árboles de algarrobo y con su fruto se preparan deliciosos refrescos. Se ubican dos puertos de gran importancia: Bayóvar y Paita, pueblos dedicados a la pesca. Piura es uno de los principales departamentos pequeros. En su litoral se encuentran varios yacimientos petroleros, frente a las costas de Talara. En esta ciudad se encuentra una de las principales refinerías, la cual abastece al norte e incluso a la ciudad de Lima.

4.1.4. Población Urbana y Rural

La población censada en los centros poblados urbanos del departamento de Piura es de 976,798 habitantes, que representa el 70,4% de la población nominalmente censada en el departamento. La población de los centros poblados rurales es de 411,466 personas que significa el 29,6% del total.

Es necesario puntualizar que la definición de centro poblado urbano y rural tiene un carácter estrictamente censal. Se considera como centros poblados urbanos, aquellos que tienen como mínimo 100 viviendas agrupadas contiguamente. Por excepción, se considera como urbana a todas las capitales de distrito, aunque no cumplan con este requisito. Centro poblado rural, para fines censales, son aquellos que tienen menos de 100 viviendas agrupadas contiguamente, o que, teniendo más de 100 viviendas, éstas se encuentran dispersas. Estas definiciones también han sido utilizadas en los censos anteriores.

AÑO	P O B L A C I O N			INCREMENTO INTERCENSAL		TASA DE CRECIMIENTO INTERCENSAL (PROMEDIO ANUAL)		
	TOTAL	URBANA	RURAL	URBANA	RURAL	TOTAL	URBANA	RURAL
1940	408605	145276	263329			2,4	3,5	1,6
1961	668941	297828	371113	152552	107784	2,3	4,1	0,5
1972	854972	462865	392107	165037	20994	3,1	4,6	1,0
1981	1125865	697191	428674	234326	36567	1,8	2,9	-0,3
1993	1388264	976798	411466	279607	-17208			

Tabla N° 05: Población de Piura censada, urbana y rural y tasas de crecimiento
Fuente: Población censada, urbana y rural y tasas de crecimiento (Inei, 1993)

Las cifras muestran que, en el departamento de Piura, contando la concentración poblacional en centros poblados urbanos observado desde 1972, que representa el 54,1%. En 1981, dicho porcentaje se incrementó en 7,8 puntos porcentuales, alcanzando el 61,9%. En 1993 la población urbana alcanzó el 70,4%.

De acuerdo a los resultados censales de 1940 y 1961, la población del departamento de Piura fue predominantemente rural, representando el 64,4% y 55,5%, respectivamente, modificándose la tendencia a partir de 1972 en que comienza a concentrarse la población en centros poblados urbanos.

En los últimos 50 años la población urbana que era de 145,276 en 1940 y 976,798 en 1993, ha crecido en casi 6 veces; en cambio, la población rural que era de 263,329 habitantes en 1940 (mayor a la población urbana) y 411,466 en 1993, solo ha crecido en 56.3%, es decir menos de una sola vez.

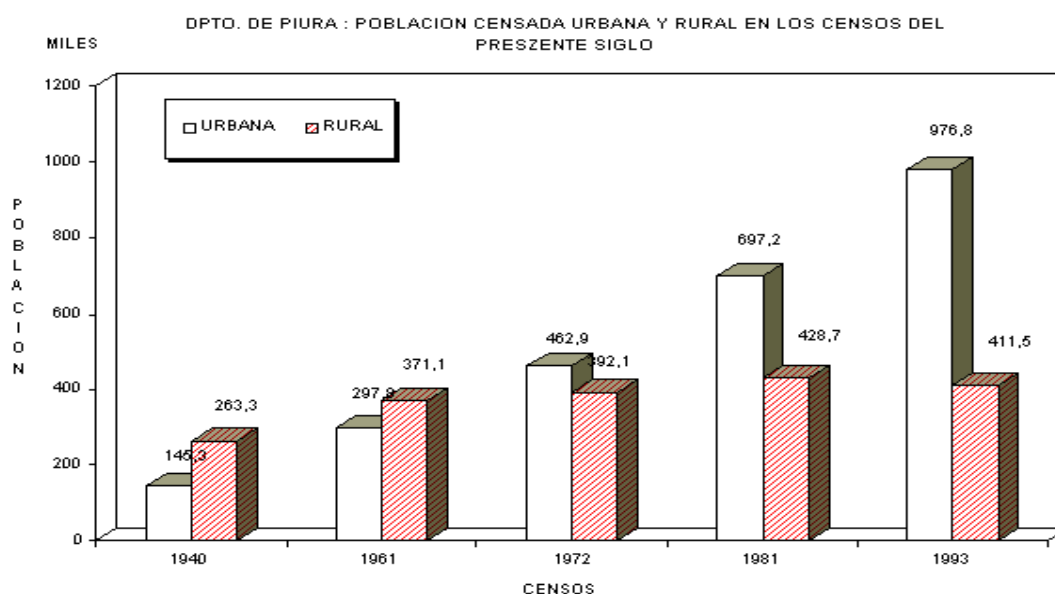


Figura N° 07: Población censada urbana y rural

Fuente: Población censada urbana y rural (Inei, 1993)

4.1.5. Indicadores Socio - Económicos

Según el ENDES 2015 Piura tienen una tasa de analfabetismo del 7.6%, siendo este porcentaje mayor en la mujer (10.7%); es decir que el riesgo de ser analfabeto por el solo hecho de vivir en Piura es 21.7% más que en el resto de País. Y el riesgo de ser analfabeto por ser mujer es 1.4 veces más que por ser hombre. (Ministerio de Salud, 2016)

Indicador		Unidad de medida	Fuente	Periodo (años)	Perú	Piura
Población alfabeta (15+ años)	Total	%	6	2015	94	92.4
	Hombres	%			97	95.5
	Mujeres	%			91	89.3
Promedio de años de escolaridad (25 a 34 años)	Hombre	años	6	2015	11.1	10.2
	Mujer	años			10	8.6
Hogares con acceso a servicios básicos	Agua	%	3	2015	85.7	81.8
	Saneamiento	%			68.4	58.9
	Luz eléctrica	%			93.9	94.6
Pobreza (Línea de pobreza)	Total	%	6	2015	20.92 - 22.63	24.77 - 29.02
	Extremos	%			3.69 - 4.44	5.64 - 7.35
Ingreso real promedio per cápita mensual, por variación porcentual	Per Cápita Mensual	S/. constantes base = 2012	8	2015	1029.1	779
Índice de desarrollo humano (IDH)		IDH	5	2012	0,506	0,4379
Índice de densidad del estado (IDE)		IDE	5	2012	0,767	0.7021

Tabla N° 06: Tasa de analfabetismo en Piura

Fuente: Tasa de analfabetismo en Piura (Ender, 2015)

4.1.6. Estudio de mercado

4.1.6.1. Penetración de los Servicios Públicos de Telecomunicaciones

Al cuarto trimestre del 2016, la mayor parte de los suscriptores con conexión al servicio de internet fijo, lo adquirieron a través de la tecnología xDSL (59.5%), seguida por la tecnología DOCSIS (37.1%) y otras tecnologías (3.4%). También se registra un crecimiento del 5.9% respecto al cuarto trimestre del 2015. (MTC, 2016).

Región	Suscriptores con Conexión al Servicio de Internet Fijo	Participación (%) Conexión al Servicio de Internet Fijo	Suscriptores con Conexión al Servicio de Internet Móvil	Participación (%) Conexión al Servicio de Internet Móvil	Número de Líneas de Telefonía Móvil	Participación (%) Número de Líneas de Telefonía Móvil	Número de Líneas de Telefonía Fija de Abonado	Participación (%) Número de Líneas de Telefonía Fija de Abonado	Número de Teléfonos Públicos	Participación (%) Número de Teléfonos Públicos	Número de Suscriptores de Radiodifusión por Cable	Participación (%) Número de Suscriptores de Radiodifusión por Cable
Piura	72 025	3.4%	956 964	4.9%	1 398 720	3.8%	94 105	3.2%	6 976	4.4%	87 277	4.6%
Nivel Nacional	2 118 199	100%	19 575 206	100%	36 991 444	100%	2 917 435	100%	157 028	100%	1 906 922	100%

Tabla N° 07: Servicios Públicos de Telecomunicaciones en Piura al 2016

Fuente: Servicios de Telecomunicaciones (MTC, 2016)

De la información observada en el cuadro se puede obtener lo siguiente con respecto al departamento de Piura:

Participación en conexión de internet fijo de 3.4%, Participación en conexión de internet móvil de 4.9%, Participación en telefonía móvil de 3.8%, Participación en telefonía fija de abonado de 3.2%, Participación en telefonía pública de 4.4% y Participación en radiodifusión por cable de 4.6%.

4.1.6.2. Situación del mercado peruano dentro de América Latina

En la actualidad, la tasa de crecimiento promedio anual de los suscriptores de la Banda Ancha Fija fue de un 11% del año 2015 respecto al año 2010 de los países de Latinoamérica.

En la siguiente figura N° 08 se puede identificar que el Perú se encuentra entre los últimos países en Acceso de Banda Ancha Fija con un promedio de penetración de 7 %. Mientras que los países con mayor penetración de Ancho de Banda Fija es Uruguay (27%), Argentina (15%). (CEPAL, 2016).

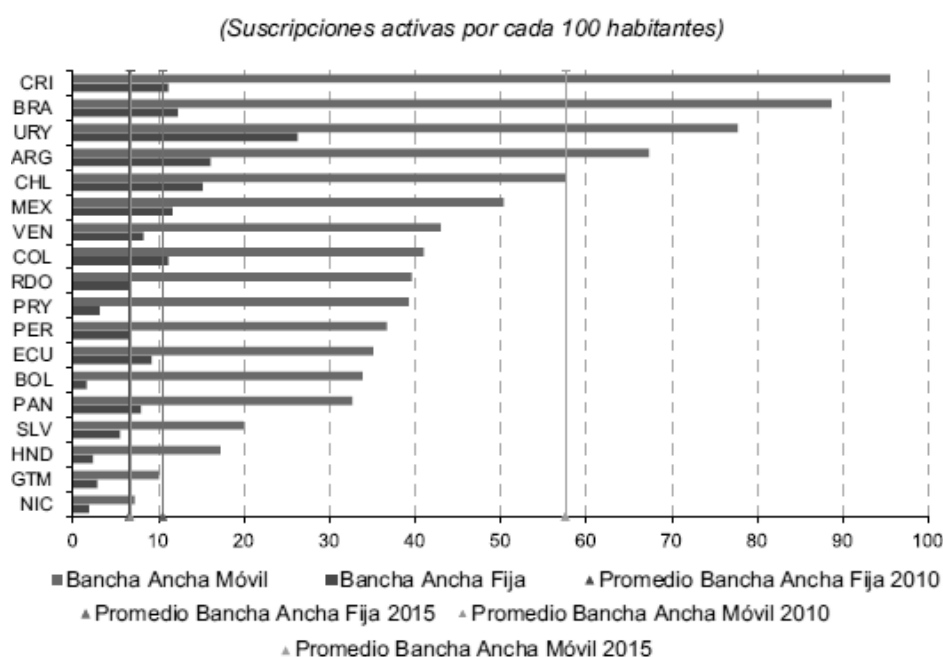


Figura N° 08: Penetración de la banda ancha fija y móvil en 2015

Fuente: Banda ancha fija (CEPAL, 2016)

En la figura N° 09 según el porcentaje de hogares conectados a Internet, Chile, Argentina, México y Perú cayeron dos posiciones en el 2015 respecto al 2010, y el Salvador cayó 3 posiciones, mientras que Costa Rica y Ecuador subieron cuatro y dos posiciones respectivamente. (CEPAL, 2016). Perú alcanza un 22%, mientras que Costa Rica, Uruguay y Chile alcanzan un 60%. (CEPAL, 2016).

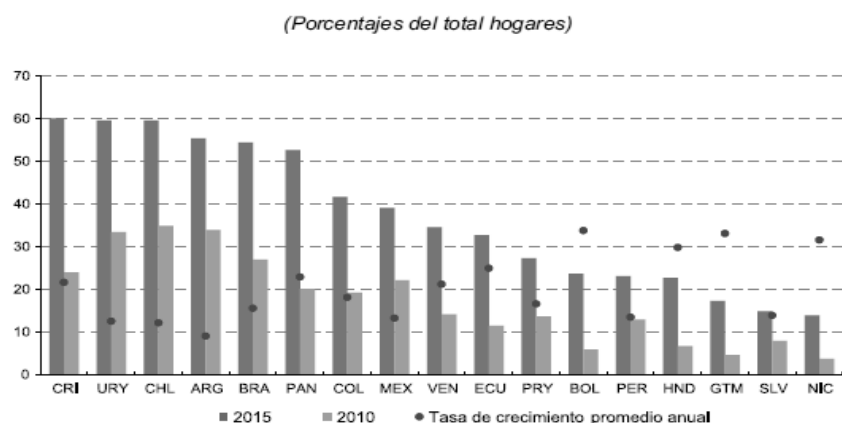


Figura N° 09: Número de hogares con acceso a internet por país, 2010 y 2015

Fuente: (CEPAL, 2016)

La velocidad de conexión es la que hace referencia a la calidad de servicio, los parámetros de estimación de la calidad son las velocidades de conexión promedio y pico promedio para el primer trimestre del de 2016. Tanto la velocidad promedio con la velocidad pico promedio aumento ligeramente en el primer trimestre de 2016 respecto al cuarto de 2015. En la siguiente Figura N° 10 se muestra que la velocidad promedio en el Perú es de 5,1 Mbps y la velocidad pico es de 31 Mbps. Chile era el país con mayor velocidad (7,3 Mbps) y Venezuela tenía la menor (1,9 Mbps). En la velocidad pico promedio, el país con mayor registro era Uruguay con 70,8 Mbps, superior a la de Estados Unidos (67,8 Mbps) y Canadá (59,6 Mbps). (CEPAL, 2016).

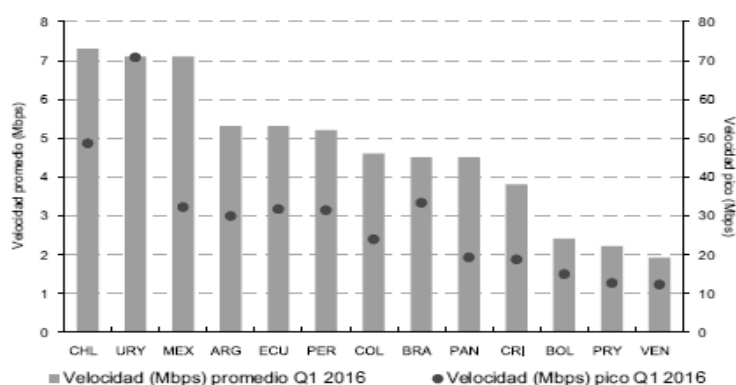


Figura N° 10: Velocidades efectivas de conexión de banda ancha fija

Fuente: (CEPAL, 2016)

4.1.6.3. Empresas competidoras del sector Telecomunicaciones en el Perú

La mayoría del servicio de acceso de Internet Fijo se da a través de los medios de xDSL, WiMAX, Inalámbrico Fijo, entre otros.

De acuerdo con el MTC, en el segundo trimestre del año 2017 se registraron ciertos números de suscriptores con conexión al servicio de internet fijo por empresa en el departamento de Piura, según la tabla 06.

Empresas	Piura
Telefónica del Perú S.A.A	50 628
América Móvil Perú S.A.C	16 505
Entel Perú S.A	3 282
Olo del Perú S.A.C	8
Americatel Perú S.A	16
Supercable Televisión S.R.L.tda	1 668
Winner Systems S.A.C	839
Yachay Telecomunicaciones S.A.C	3
Colinanet S.R.L	1
Internexa Perú S.A.C	3
Velatel Perú S.A.C	13
Compañía de Comercio Global S.A.C	1
Total General	72, 968

Tabla N° 08: Suscriptores del Servicio de Internet Fijo por empresas en Piura

Fuente: Servicio de Internet Fijo (MTC, 2017)

4.2. Análisis del Proyecto

En la actualidad existen grandes proyectos a nivel del Perú, para el presente análisis de ingeniería se tomará como referencia el proyecto realizado para el centro comercial Jockey Plaza ubicado en el departamento de Lima, con el fin que esta investigación logre contribuir al crecimiento de los centros comerciales de Piura que es nuestra zona de interés, a continuación, se da un alcance del proyecto:

El centro comercial Jockey Plaza ubicado en la Av. Javier Prado Oeste 420 en el distrito de Santiago de Surco en la provincia de Lima, departamento de Lima, con un área de unos 136.834 metros cuadrados es uno de los centros comerciales de mayor movimiento económico en nuestra ciudad (el año 2013 facturó US\$730 millones), tiene una tasa de visitas mensual de 2,500,000 personas.

En el 79.8% de los hogares a nivel nacional existe por lo menos uno de sus miembros con teléfono celular, según un trabajo del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) correspondiente al trimestre de Octubre - Noviembre - Diciembre de 2012. Siendo Lima Metropolitana el ámbito geográfico con mayor índice, tal como se puede apreciar en la Tabla N° 09.

Según un estudio de Ipsos - Apoyo realizado en febrero del 2013 en Lima, la penetración de smartphones alcanzó el 20%, mientras que en zonas urbanas a nivel nacional representó el 16%, que significa un crecimiento de más del 200% de lo obtenido en el 2011 (6.3%). Además, actualmente entre el 70% y el 80% del tráfico móvil proviene del interior de edificios, pero la solución de nodos B está enfocada principalmente para exteriores. Estos datos en consenso generan un problema de cobertura y tasa de descarga reducida en lugares de alta densidad de usuarios tal como lo es un centro Comercial. Sumado el hecho de que la propia infraestructura del centro comercial atenúa cualquier señal móvil. (Pablo Minaya, 2014)

Ámbito geográfico	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Total	7.9	8.9	12.1	16.4	20.7	29.8	45.0	59.7	67.0	73.1	75.2	79.7	82.0
Lima Metropolitana 1/	18.0	18.7	25.8	34.2	39.5	51.3	65.7	75.7	80.3	83.3	85.6	88.8	88.5
Resto país	3.6	4.6	6.2	9.0	12.6	20.3	36.0	52.6	61.0	68.4	70.6	75.8	79.1
Área de residencia													
Urbana	11.2	12.7	17.1	22.9	28.6	40.1	57.8	72.4	78.0	82.2	83.9	86.9	88.2
Rural	0.6	0.4	0.5	1.3	1.4	3.7	11.3	24.3	36.0	46.2	49.8	58.2	63.1

Tabla N° 09: Número de hogares con al menos un miembro que posee celular

Fuente: Número de hogares con al menos un miembro que posee celular (Inei, 2012)

4.3. Diseño de un Sistema distribuido de Antenas

El problema de la falta de cobertura en interiores de edificios está siendo estudiado actualmente en el Perú por algunas operadoras móviles (Telefónica Móviles S.A. América Móvil Perú S.A.C., Nextel del Perú S.A.), quienes están poniendo en marcha proyectos para llevar mayor cobertura en interiores según la necesidad que se presente. Dentro de este escenario, la implementación de un sistema distribuido de antenas utilizando las tecnologías WCDMA y LTE es la solución para optimizar la cobertura dentro de las edificaciones de centros comerciales.

En ese sentido en esta investigación se diseña un Sistema distribuido de Antenas (DAS) para mejorar la Red Móvil en el interior de centros comerciales del departamento de Piura y así lograr llegar con los servicios de telecomunicaciones.

Para el presente proyecto de Tesis se asume que se atenderá al centro comercial Open Plaza ubicado en el distrito de Castilla, departamento de Piura en la que los pobladores que frecuentan este centro comercial serán beneficiados con este mejoramiento de la Red Móvil.

El diseño cubre el despliegue del sistema distribuido de antenas en el centro comercial Open Plaza, que se ubica en el distrito de Castilla, departamento de Piura.



Figura N° 16: Sistema Distribuido de Antenas en el centro comercial Open Plaza
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 11: Sistema Distribuido de Antenas en el centro comercial Open Plaza

Fuente: Elaboración propia

4.3.1. Zona de interés para el desarrollo del Proyecto

Con lo mencionado anteriormente, la finalidad de este proyecto es realizar el diseño para un centro comercial en específico, no obstante, este podrá ser luego aplicada en cualquier otro centro comercial dentro o fuera del departamento de Piura.

El centro comercial elegido es Open Plaza, ubicado en el distrito de Castilla, Departamento de Piura, se seleccionó con el fin de implementar dicha Sistema Distribuido de Antenas para así de esta forma mejorar la Red Móvil en el interior de los centros comerciales y así reducir la brecha tecnológica que todavía existe en nuestro país.



Figura N° 12: Mapa de ubicación del centro comercial Open Plaza

Fuente: Mapa de ubicación del centro comercial Open Plaza (Open Plaza, 2018)

Es preciso aclarar que el centro comercial fue elegido con el fin de acotar el alcance de la Tesis, luego puede ser replicado para otros centros comerciales.

Open Plaza es uno de los 4 centros comerciales establecidos en el departamento de Piura, cuenta con 119 locales en su interior en los cuales brinda una amplia gama de servicios desde tiendas por departamento (accesorios, moda, supermercado y hogar, calzado y deporte), bancos, entretenimiento entre otros servicios que hacen que sea un centro comercial totalmente completo, ubicado en uno de los distritos de mayor extensión del departamento de Piura.

Coordenadas geográficas:

- ✓ Latitud: -5.1819166
- ✓ Longitud: -80.6220412



Figura N° 13: Centro comercial Open Plaza, Piura

Fuente: Centro comercial Open Plaza, Piura (Open Plaza, 2018)

4.3.2. Arquitectura de Red

Se puede observar en la Figura N° 14 que la red se divide en 3 bloques diferenciados, los cuales son: BSS (Base Station Subsystem), NSS (Network Switching Subsystem) y NMS (Network Management Subsystem); además se

nota otros elementos como el MS (Mobile Station) y las interfaces que interconectan cada parte de la red. (Aldo Vera, 2013)

En el trabajo a realizar los estudios se harán a partir del análisis de la parte de acceso de radio de esta arquitectura por lo tanto se les dará mayor atención a los bloques de MS y BSS. (Aldo Vera, 2013)

El Mobile Station (MS) es, de forma sencilla, el teléfono celular que una persona común posee y el cual es el medio de interacción entre un usuario y la red de telefonía celular. El MS se divide en dos elementos claramente definidos los cuales son: el ME (Mobile Equipment), el cual es el teléfono móvil propiamente dicho y la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module), el cual es una pequeña tarjeta que guarda los datos más relevantes del usuario y que asociará a este a algún operador existente. Esta tarjeta será la llave de acceso para que el móvil acceda a la red que le dará el servicio. (Aldo Vera, 2013)

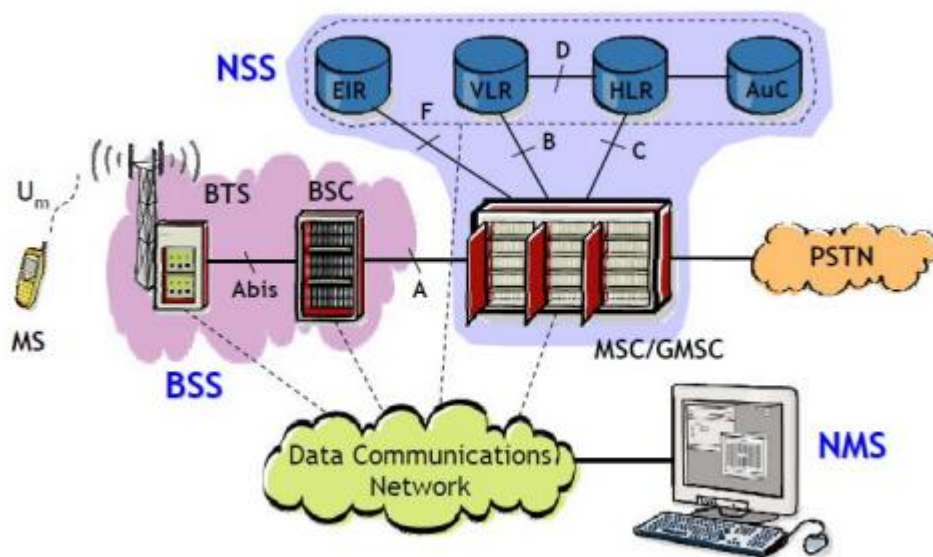


Figura N° 14: Arquitectura de Red GSM

Fuente: Arquitectura de Red GSM (VEL, 2010)

El bloque Base Station Subsystem (BSS) es el que se encarga básicamente del control de canales y conexiones de radio que se asignan al momento que el móvil realiza una llamada, en otras palabras, es el encargado de controlar el tráfico y la señalización de las llamadas que se realizan. La BSS está

compuesta por la BTS (Base Transceiver Station) que es el elemento que atiende directamente al MS y el que le da la cobertura de red, y la BSC (Base Station Controller) quien controla el accionar de la BTS y quien ve la gestión de la movilidad y da soporte a la señalización. (HEI, 1998).

4.3.3. Análisis de los Costos

A continuación, se realiza un análisis económico de la red instalada en donde se analiza la rentabilidad de este proyecto. En primer lugar, se toma en cuenta la inversión a realizar en donde se considera el precio de los equipos a instalar, los materiales de construcción y los servicios de instalación, detallados en las tablas 10, 11 y 12 respectivamente. Para el caso de precio de los equipos se considera el valor de mercado de los elementos principales de la red. Luego se listan los precios del equipamiento necesario y elementos como conectores y duetos. Por último, se considera el precio de los servicios de instalación, así como el del estudio de ingeniería. Finalmente se calcula la totalidad del monto a invertir tomando en cuenta los puntos ya antes mencionados, esto se resume en las siguientes tablas:

EQUIPOS	PRECIO U.	CANTIDAD	TOTAL
Antena Panel	248	9	2232
Antena Omnidireccional	281	36	10116
Cable Coaxial 1/2"	16	1192	19072
Cable Coaxial 7/8"	19	213	4047
Splitter	59	11	649
Acoplador	69	31	2139
Conector 1/2"	49	121	5929
conector 7/8"	59	6	354
RRU 3841	16020	2	32040
RRU 3942	14041	2	28082
Gabinete	16020	1	16020
BBU 3900	17046	1	17046
Total			137726

Tabla N° 10: Precios de los equipos
Fuente: Elaboración propia

MATERIALES DE INSTALACIÓN	PRECIO U.	CANTIDAD	TOTAL
Tubo Conduit Flexible 1"	10	949	9490
Tubo Conduit Flexible 1 1/2"	25	77	1925
Tubo Conduit Rígido 1"	11	243	2673
Tubo Conduit Rígido 1 1/2"	23	136	3128
Abrazadera 1"	14	352	4928
Soporte de Antena	66	45	2970
Prensa Estopa 1"	9	165	1485
Prensa Estopa 1 1/2"	16	9	144
Unión Conduit Rígido 1"	7	81	567
Unión Conduit Rígido 1 1/2"	9	45	405
Caja de Paso	55	88	4840
Codo Conduit 1"	19	28	532
Codo Conduit 1 1/2"	28	2	56
Cable de Energía 2x10 AWG	18	22	396
Cable de Tierra 35mm	27	22	594
Total			34133

Tabla N° 11: Costos de los materiales de construcción (en el mercado local)
Fuente: Elaboración propia

SERVICIO DE INSTALACIÓN	PRECIO U.	CANTIDAD	TOTAL
Instalación	38727	1	38727
Estudio de Ingeniería	33100	1	33100
Total			71827

Tabla N° 12: Costos de los servicios de instalación
Fuente: Elaboración propia

TOTAL EQUIPOS	137726
TOTAL MATERIALES	34133
TOTAL SERVICIOS	71827
Total General	243686

Tabla N° 13: Inversión total
Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Equipamiento Propuesto

Aquí se desarrollan los ítems correspondientes al montaje del equipamiento, detallando las características básicas de los equipos, mayor detalle de los equipos es incluido en el anexo 1 (Datasheet de los elementos pasivos) y el anexo 2 (Hojas técnicas de los elementos activos). (Pablo Minaya, 2014)

Previamente se definen los elementos que componen una red RF Indoor y cómo es que estas partes se interconectan dentro de su arquitectura. Se definen conceptos como BBU, RRU, antenas, splitter, etc., sin embargo, estos equipos tienen distintas versiones y fabricantes los cuales hacen variar el desempeño del equipo, así como también su precio. Es por ello necesario el determinar cuáles son los equipos específicos que se van a usar antes de realizar el diseño. La elección de estos equipos se hace pensando en las necesidades propias de la solución, el prestigio de ciertos fabricantes y la comodidad de precios.

Para la realización de la solución se utiliza una BBU 3900 del proveedor Huawei la cual soporta las tecnologías GSM, UMTS y L TE en simultaneo. Esta BBU tiene 8.6 cm. de alto, 44.2 de ancho y 31 cm. de profundidad, y no debe operarse a una temperatura mayor a 55° C. El equipamiento Huawei ofrece una solución Single RAN que permite que coexistan las tecnologías en el mismo hardware solo cambiando tarjetas. (Pablo Minaya, 2014)

Para el sistema de rectificación se utiliza un gabinete modelo APM del mismo fabricante que incluye equipos rectificadores y un sistema de baterías. Las dimensiones del APM30H son: (H x W x D) 700 mm x 600 mm x 480 mm (No incluye la base del gabinete 200x600x480). (Pablo Minaya, 2014)

En cuanto a las RRU para la tecnología UMTS se escoge el modelo RRU 3942 en la banda 1900MHz y para la tecnología L TE se escoge el modelo RRU3832 que soporta la banda AWS, ya que dicha banda es utilizada por los operadores Movistar y Nextel. (Pablo Minaya, 2014)

Los splitters a utilizar son los modelos HAS0825N200-02, para splitters de 2 vías, del fabricante AGISSON, de conector N - Female y que operan en el rango de frecuencias desde 800 a 2500 MHz., lo cual satisface las bandas de frecuencias que se utilizan tanto para UMTS en 1900 y AWS de L TE.

El duplexor es del mismo fabricante y del modelo DBCS que tiene una pérdida de inserción menor a 0.4 dB. y que está diseñado para acoplar señales que estén en los rangos entre 800 a 960 MHz. y entre 171 O a 2170 MHz.

El cable coaxial elegido para el desarrollo de la solución es el cable LCF12-50J del fabricante RFS el cual se eligió debido a su baja pérdida ya que en la banda 850 se atenúa 6.5 dB cada 100 metros y en la banda 1900 se atenúa 1 O dB cada 100 metros. Se consideran cables de ½"y también cables de 7/8" (para los tramos largos). (Pablo Minaya, 2014)

Por último, las antenas a utilizar son antenas paneles y omnidireccionales cuyo rango de frecuencia soporta la banda 1900 y también la banda AWS ambos modelos en la marca Agisson. (Pablo Minaya, 2014)

Antena	Pérdida por Cable					Pérdida por Splitter		Pérdida por acoplador										Pérdida por combinator	Salida del sistema	Ganancia de la antena	Potencia irradiada por la antena
	Longitud 7/8"	Pérdida	Longitud 1/2"	Pérdida	Pérdida Total (dB)	Cantidad	Pérdida L=-3.02	C1	C2	C3	C4	C5	Cantidad	Pérdida Total (dB)							
ANTO01-1F	60	-3.40	6	-0.65	-4.05	2	-6	-1.65	-10.00				2	-11.65	-3.5	30	5	9.76			
ANTO02-1F	60	-3.40	36	-3.89	-7.29	2	-6	-1.65	-0.45	-5.00			3	-7.10	-3.5	30	5	11.07			
ANTO03-1F	60	-3.40	65	-7.02	-10.42	2	-6	-1.65	-0.45	-1.65			3	-3.75	-3.5	30	5	11.29			
ANTO04-1F	60	-3.40	52	-5.62	-9.02	3	-9.1	-1.65	-5.00				2	-6.65	-3.5	30	5	6.77			
ANTO05-1F	60	-3.40	80	-8.64	-12.04	3	-9.1	-1.65	-1.65				2	-3.30	-3.5	30	5	7.10			
ANTO06-1F	60	-3.40	20	-2.16	-5.56	3	-9.1	-1.65	-5.00				2	-6.65	-3.5	30	5	10.23			
ANTO07-1F	60	-3.40	50	-5.40	-8.80	3	-9.1	-1.65	-1.65				2	-3.30	-3.5	30	5	10.34			
ANTP01-1F	0	0.00	15	-1.62	-1.62	1	-3	-1.65	-15.00				2	-16.65	-3.5	30	8	13.21			
ANTP02-1F	0	0.00	47	-5.08	-5.08	1	-3	-1.65	-0.13	-15.00			3	-16.78	-3.5	30	8	9.62			
ANTO08-1F	0	0.00	75	-8.10	-8.10	2	-6	-1.65	-0.13	-0.13	-5.00		4	-6.91	-3.5	30	5	10.45			
ANTO09-1F	0	0.00	104	-11.23	-11.23	2	-6	-1.65	-0.13	-0.13	-1.65		4	-3.56	-3.5	30	5	10.67			
ANTO10-1F	0	0.00	75	-8.10	-8.10	2	-6	-1.65	-0.13	-0.13	-5.00		4	-6.91	-3.5	30	5	10.45			
ANTO11-1F	0	0.00	104	-11.23	-11.23	2	-6	-1.65	-0.13	-0.13	-1.65		4	-3.56	-3.5	30	5	10.67			
ANTP03-1F	0	0.00	15	-1.62	-1.62	0	0	-1.65	-15.00	-5.00			3	-21.65	-3.5	30	8	11.23			
ANTP04-1F	0	0.00	44	-4.75	-4.75	0	0	-1.65	-15.00	-1.65			3	-18.30	-3.5	30	8	11.45			
ANTO12-1F	40	-2.27	6	-0.65	-2.92	1	-3	-1.65	-0.13	-10.00			3	-11.78	-3.5	30	5	13.78			
ANTO13-1F	40	-2.27	36	-3.89	-6.16	1	-3	-1.65	-0.13	-0.45	-10.00		4	-12.23	-3.5	30	5	10.09			
ANTO14-1F	40	-2.27	66	-7.13	-9.40	1	-3	-1.65	-0.13	-0.45	-0.45	-5.00	5	-7.68	-3.5	30	5	11.40			
ANTO15-1F	40	-2.27	95	-10.26	-12.53	1	-3	-1.65	-0.13	-0.45	-0.45	-1.65	5	-4.33	-3.5	30	5	11.62			
ANTO16-1F	40	-2.27	35	-3.78	-6.05	1	-3	-1.65	-0.13	-10.00			3	-11.78	-3.5	30	5	10.65			

Tabla N° 14: Potencias del sistema distribuido de antenas

Fuente: Potencias del sistema distribuido de antenas (Pablo Minaya, 2014)

Antena	Pérdida por Cable					Pérdida por Splitter		Pérdida por acoplador							Pérdida por combinator	Salida del sistema	Ganancia de la antena	Potencia irradiada por la antena
	Longitud 7/8"	Pérdida	Longitud 1/2"	Pérdida	Pérdida Total (dB)	Cantidad	Pérdida L=-3.02	C1	C2	C3	C4	C5	Cantidad	Pérdida Total (dB)				
ANTO17-1F	40	-2.27	70	-7.56	-9.83	2	-6	-1.65	-0.13	-0.45	-5.00		4	-7.23	-3.5	30	5	8.40
ANTO18-1F	40	-2.27	99	-10.69	-12.96	2	-6	-1.65	-0.13	-0.45	-1.65		4	-3.88	-3.5	30	5	8.62
ANTO19-1F	40	-2.27	70	-7.56	-9.83	2	-6	-1.65	-0.13	-0.45	-5.00		4	-7.23	-3.5	30	5	8.40
ANTO20-1F	40	-2.27	99	-10.69	-12.96	2	-6	-1.65	-0.13	-0.45	-1.65		4	-3.88	-3.5	30	5	8.62
ANTO01-2F		0.00	79	-8.53	-8.53	2	-6	-5.00	-5.00				2	-10.00	-3.5	30	5	6.93
ANTO02-2F		0.00	109	-11.77	-11.77	2	-6	-5.00	-1.65				2	-6.65	-3.5	30	5	7.04
ANTO03-2F		0.00	79	-8.53	-8.53	2	-6	-5.00	-5.00				2	-10.00	-3.5	30	5	6.93
ANTO04-2F		0.00	109	-11.77	-11.77	2	-6	-5.00	-1.65				2	-6.65	-3.5	30	5	7.04
ANTP01-2F		0.00	37	-4.00	-4.00	1	-3	-5.00	-5.00	-5.00			3	-15.00	-3.5	30	8	12.48
ANTP02-2F		0.00	65	-7.02	-7.02	1	-3	-5.00	-5.00	-1.65			3	-11.65	-3.5	30	8	12.81
ANTO05-2F	30	-1.70	50	-5.40	-7.10	2	-6	-5.00	-1.65	-5.00			3	-11.65	-3.5	30	5	6.71
ANTO06-2F	30	-1.70	79	-8.53	-10.23	2	-6	-5.00	-1.65	-1.65			3	-8.30	-3.5	30	5	6.93
ANTO07-2F	30	-1.70	50	-5.40	-7.10	2	-6	-5.00	-1.65	-5.00			3	-11.65	-3.5	30	5	6.71
ANTO08-2F	30	-1.70	79	-8.53	-10.23	2	-6	-5.00	-1.65	-1.65			3	-8.30	-3.5	30	5	6.93
ANTP03-2F		0.00	44	-4.75	-4.75	0	0	-5.00	-10.00	-5.00			3	-20.00	-3.5	30	8	9.75
ANTP04-2F		0.00	73	-7.88	-7.88	0	0	-5.00	-10.00	-1.65			3	-16.65	-3.5	30	8	9.97
ANTO09-2F		0.00	69	-7.45	-7.45	1	-3	-5.00	-0.45	-5.00			3	-10.45	-3.5	30	5	10.58
ANTO10-2F		0.00	98	-10.58	-10.58	1	-3	-5.00	-0.45	-1.65			3	-7.10	-3.5	30	5	10.80
ANTO11-2F		0.00	69	-7.45	-7.45	1	-3	-5.00	-0.45	-5.00			3	-10.45	-3.5	30	5	10.58
ANTO12-2F		0.00	98	-10.58	-10.58	1	-3	-5.00	-0.45	-1.65			3	-7.10	-3.5	30	5	10.80

Tabla N° 14: Potencias del sistema distribuido de antenas

Fuente: Potencias del sistema distribuido de antenas (Pablo Minaya, 2014)

4.3.5. Esquema del diseño del sistema DAS

Es una solución celular pequeña y versátil, diseñada para ambientes In-Building. Su componente principal es un stack de equipos celulares, el cual es el encargado de generar la señal celular y de procesar el tráfico de los usuarios; este se conecta a un conjunto de elementos activos (Main Unit, Remote Unit) que de forma inteligente distribuyen la señal celular en toda el área de la estructura a cubrir; y estos elementos activos se conectan a su vez a varias antenas celulares, para enviar la señal a los terminales móviles. La solución se enlaza a la red celular a través de un enlace vía microondas o Fibra óptica.

Para poder operar se requiere una conexión de energía a 220V AC. (Fabio Jaimes, 2016)

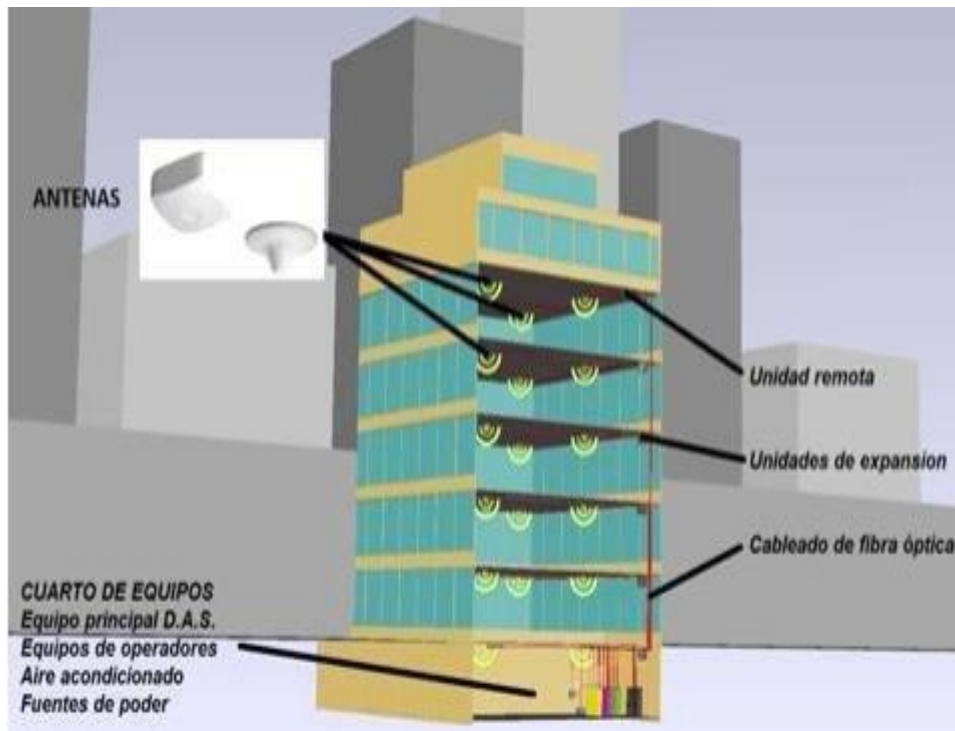


Figura N° 15: Sistema Distribuido de Antenas

Fuente: Sistema Distribuido de Antenas (Fabio Jaimes, 2016)



Figura N° 16: Sistema Distribuido de Antenas en el centro comercial Open Plaza

Fuente: Elaboración propia

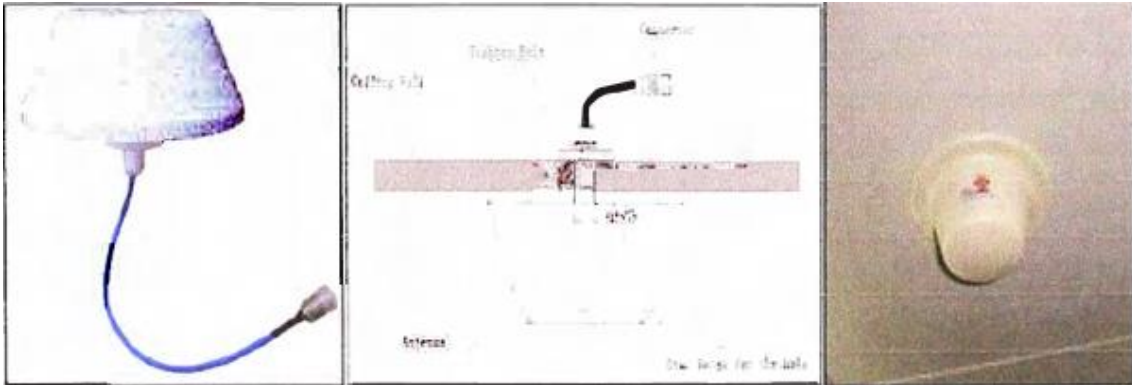


Figura N° 17: Antena Omnidireccional

Fuente: Antena Omnidireccional (Pablo Minaya, 2014)

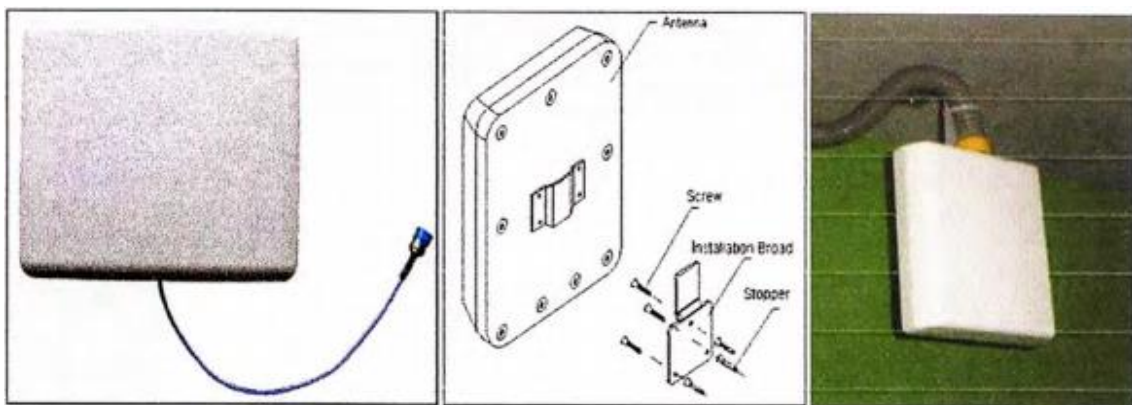


Figura N° 18: Antena tipo panel

Fuente: Antena tipo panel (Pablo Minaya, 2014)

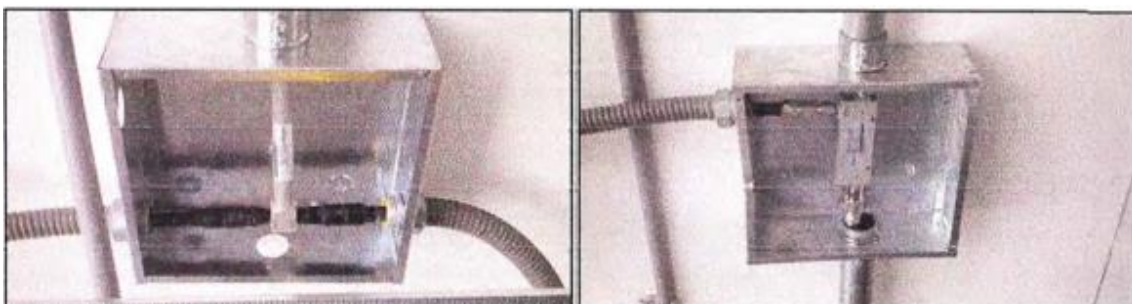


Figura N° 19: Splitter y acoplador respectivamente

Fuente: Splitter y acoplador respectivamente (Pablo Minaya, 2014)

CONCLUSIONES

- ✓ Esta investigación brinda los aportes necesarios para dar una solución a la barrera que enfrentan los centros comerciales día a día que es la escasa cobertura de señal móvil, esto al brindar una mejora en la cobertura de la señal en el interior de la edificación y esto se realizaría con el fin de aprovechar los beneficios que ofrece este tipo de solución para poder brindar los servicios de voz y datos a los usuarios que frecuentan estos lugares.
- ✓ Es preciso señalar que el diseño de la solución se desarrolle para las tecnologías 3G y 4G debido a la tendencia de la tecnología móvil, tomando en cuenta las visitas al centro comercial y teniendo como objetivo garantizar niveles óptimos de cobertura, dando prioridad a las zonas comunes y pasillos del Centro Comercial.
- ✓ Se concluye que el diseño del sistema distribuido de antenas para mejorar la red móvil en el interior de centros comerciales es económicamente viable.
- ✓ El análisis financiero del proyecto proporciona buenos resultados, dando la viabilidad económica para la ejecución del proyecto, obteniendo resultados deseables en los diferentes escenarios.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda para diseños de redes similares considerar colocar antenas paneles en lugar de antenas omnidireccionales en los extremos de la edificación debido a su naturaleza directiva que permite que la potencia irradiada apunte al interior del lugar a dar cobertura y no escape a las afueras lo cual puede generar problemas de interferencia con la cobertura outdoor.
- ✓ Al momento de terminar los diseños y generar los link budgets, es recomendable considerar un margen de 2dB de pérdida adicional a todo el sistema debido a cuestiones propias de instalación como obstáculos en el recorrido del cableado, lugares en los que no se pueda pasar cable fácilmente lo cual genere más tramos de cable o pérdidas adicionales en los conectores.
- ✓ Debido al desarrollo de tecnologías de telecomunicaciones, se debe tener proyectado el escalamiento de este sistema (DAS) para ser compatible o plantear una propuesta que facilite la integración de la nueva tecnología.
- ✓ Este proyecto es aplicable a cualquier espacio Indoor, ya sea edificios, centros comerciales, estadios, hospitales, etc. Pero con un estudio particular para cada sitio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (El Regional Piura, 2016), «Centros comerciales de Piura, se convierten en los preferidos de público ecuatoriano», 2016. [En línea]. Available: <https://www.elregionalpiura.com.pe/index.php/especiales/164-informes/17159-centros-comerciales-de-piura-se-convierten-en-los-preferidos-de-publico-ecuatoriano>
- (Gestión, 2015). «Osiptel plantea instalar antenas de telecomunicaciones en edificios de entidades públicas», 2015. [En línea]. Available: <https://gestion.pe/economia/osiptel-plantea-instalar-antenas-telecomunicaciones-edificios-entidades-publicas-74108>
- (StellaDoradus, 2013). «Solución al problema de la mala cobertura de telefonía móvil en centros comerciales», 2013. [En línea]. Available: <https://www.stelladoradus.es/un-caso-de-mala-cobertura-de-telefonía-movil-en-un-centro-comercial-y-una-solucion/>
- (Monografías.com, 2013). «Antenas de telefonía móvil», 2013. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos40/antenas-telefonía-movil/antenas-telefonía-movil2.shtml>
- (Pablo Minaya, 2014), P. M., «Diseño e Implementación de un Sistema Distribuido de Antenas para la red Móvil en el interior de Centros Comerciales», 2014, Universidad Nacional de Ingeniería.
- (Fabio Jaimes, 2016), F. J., «Propuesta de Diseño e Implementación de un sistema distribuido de Antenas (DAS) para mejorar la Red Móvil del operador Claro en el centro comercial Titán Plaza», 2016, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- (Ansi, 2015). «ANSI/BICSI 006-2015 Óptimas prácticas de diseño e implementación del sistema de antenas distribuidas (DAS)», 2015. [En línea]. Available: https://www.bicsi.org/pdf/standards/BICSI_006_ESP-Sample.pdf
- (Viajar a Perú, 2018). «Departamento de Piura», 2018. [En línea]. Available: <https://www.viajaraperu.com/departamento-de-piura/>
- (Bcrp, 2018). «Caracterización del departamento de Piura», 2018. [En línea]. Available: <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Piura/Piura-Characterizacion.pdf>
- (Ministerio de salud, 2018). «Departamento de Piura», 2018. [En línea]. Available: http://www.dge.gob.pe/portal/Asis/indreg/asis_piura.pdf
- (Osiptel, 2018). «Empresas operadoras», 2018. [En línea]. Available: <https://www.osiptel.gob.pe/categoria/enlaces-empresas-operadoras>
- (El Comercio, 2017). «¿Podrá tener el Perú más de 8 operadores móviles este año?», 2017. [En línea]. Available: <https://elcomercio.pe/economia/negocios/podra-peru-8-operadores-moviles-ano-404128>

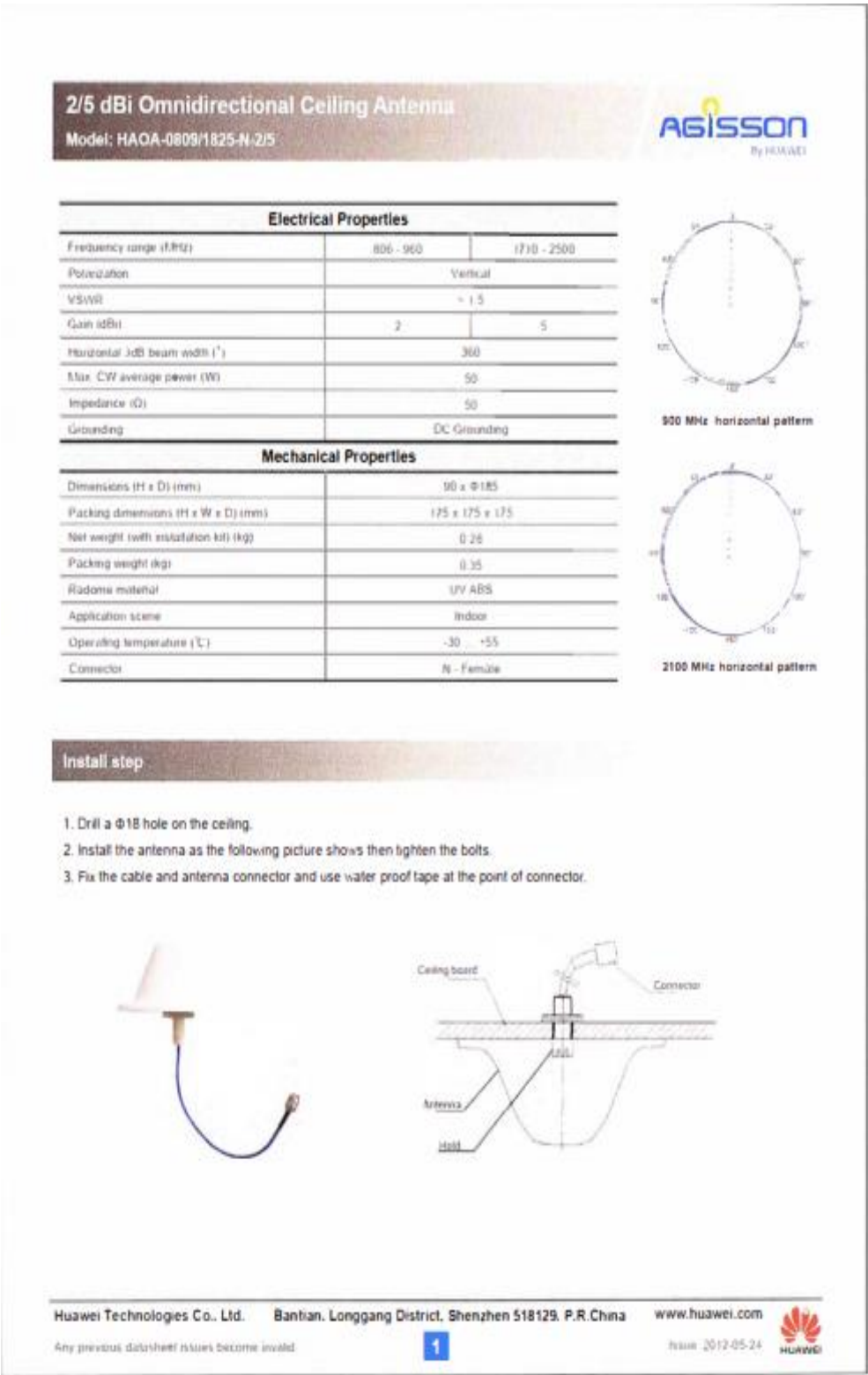
- (Perú21, 2017). «Telefonía móvil en el Perú sumará un sexto operador», 2017. [En línea]. Available: <https://peru21.pe/economia/telefonía-movil-peru-sumara-sexto-operador-63709>
- (PerúHardware, 2013). «Frecuencias/bandas Celulares en Peru», 2013. [En línea]. Available: <https://www.peruhardware.net/temas/frecuencias-bandas-celulares-en-peru.169414/>
- (Augusto Rodriguez, 2017), A. R., «Optimización de las comunicaciones de telefonía celular en la sede del estadio metropolitano de Barquisimeto aplicando la tecnología sistema distribuido de antenas (DAS)», 2017, Universidad Fermín Toro.
- (Carol Princess, 2018), C. P., «Implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR para la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro», 2018, Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- (Aldo Vera, 2013), A. V., «Diseño e implementación de una red Rf Indoor en el hospital de emergencias pediátricas para mejora de cobertura», 2013, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- (Universidad Internacional de Valencia, 2018). «Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G», 2018. [En línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/evolucion-la-red-comunicacion-movil-del-1g-al-5g/>
- (Lanix, 2015). «Tipos de Tecnologías de Comunicación de Celulares Android: EDGE , 3G, H+ y 4G», 2015. [En línea]. Available: <https://soporte.lanix.co/hc/es/articles/204590385-Tipos-de-Tecnolog%C3%ADas-de-Comunicaci%C3%B3n-de-Celulares-Android-EDGE-3G-H-y-4G->
- (Prezi.com, 2014). «Propagación de RF», 2014. [En línea]. Available: <https://prezi.com/uycsobtskldq/propagacion-de-rf/>
- (Cellnex, 2018). «Sistemas Distribuidos de Antena (DAS)», 2018. [En línea]. Available: <https://www.cellnextelecom.com/sistemas-distribuidos-de-antena/>
- (Ronny Alborno, 2018). «Sistemas de antenas distribuidas (DAS)», 2018. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/226827823/Sistemas-de-Antenas-Distribuidas>
- (Commscope, 2018). «Sistemas de antenas distribuidas (DAS)», 2018. [En línea]. Available: [https://es.commscope.com/solutions/distributed-antenna-systems-\(das\)/](https://es.commscope.com/solutions/distributed-antenna-systems-(das)/)
- (Open Plaza, 2018). «Open Plaza», 2018. [En línea]. Available: <http://www.openplaza.com.pe/opplapepr/Piura/Nosotros>

(Proyectos Inei, 1993). «Población Urbana y Rural», 1993. [En línea]. Available: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0187/cap0103.htm>

(Cpi, 2017). «Perú: Población 2017», 2017. [En línea]. Available: http://cpi.pe/images/upload/paginaweb/archivo/26/mr_poblacion_peru_2017.pdf

ANEXOS


Anexo 01: Hoja técnica de una antena omnidireccional



Anexo 02: Hoja técnica de una antena panel.

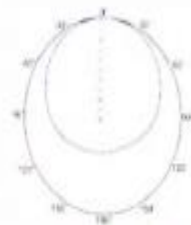
7/8 dBi Wall Mount Antenna

Model: HADA-0809/1825-N-7/8

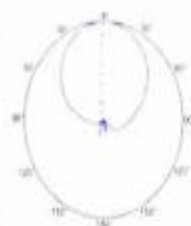


Electrical Properties		
Frequency range (MHz)	805 - 960	1710 - 2500
Polarization	Vertical	
VSWR	≤ 1.5	
Gain (dBi)	7	8
Horizontal 3dB beam width (°)	90	75
Front to back ratio (dB)	≥ 6	≥ 8
Max. CW average power (W)	50	
Impedance (Ω)	50	
Grounding	DC Grounding	

Mechanical Properties	
Dimensions (H x W x D) (mm)	210 x 190 x 44
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	255 x 190 x 60
Net weight (with installation kit) (kg)	0.43
Packing weight (kg)	0.51
Radome material	UV ABS
Application scene	Indoor
Operating temperature (°C)	-30 ~ +55
Connector	N - Female




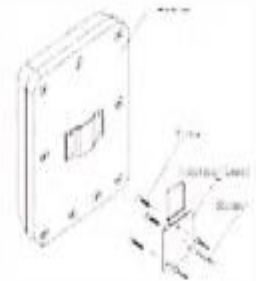
900 MHz horizontal pattern



2100 MHz horizontal pattern

Install step

1. Punch the correct size hole with the drill, and put the stopper into the hole, then after installing the M4 x 25 screw, fix them into the stepper.
2. Hang the antenna on the installation piece and install the connector.





Huawei Technologies Co., Ltd. Bantian, Longgang District, Shenzhen 518129, P.R.China

Any previous datasheet issues become invalid

www.huawei.com

Issue: 2012-05-24




1

Anexo 03: Hoja técnica de los splitters

Cavity Power Splitter


Model: HAS0825N200-02 HAS0825N200-03 HAS0825N200-04




By HUAWEI

Electrical Properties			
Model	HAS0825N200-02	HAS0825N200-03	HAS0825N200-04
Frequency range (MHz)	800 - 2500		
Dividing	2	3	4
VSWR	≤ 1.3		
Insertion loss (dB)	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.3
Intermodulation (IM) (dBc)	≤ -140 (2 x 43 dBm carrier)		
Max. CW average power (W)	200		
Impedance (Ω)	50		
Passband ripple (dB)	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.3
Channel balance (dB)	≤ 0.3		
FIT (ppm : ppm)	500		


Mechanical Properties			
Dimensions (H x W x D) (mm) (without connector)	193 x 25 x 25	200 x 25 x 25	200 x 25 x 25
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	222 x 67 x 30	242 x 67 x 30	242 x 67 x 47
Net weight (kg)	0.19	0.21	0.24
Packing weight (kg)	0.22	0.24	0.28
Application scene	Indoor		
Operating temperature (°C)	-30 ~ +55		
Connector	N-Female		



HAS0825N200-02



HAS0825N200-03



HAS0825N200-04

Huawei Technologies Co., Ltd.


Bantian, Longgang District, Shenzhen 518129, P.R.China

Any previous datasheet issues become invalid

1

www.huawei.com

Issue 201204-09



Anexo 4: Hojas técnica de los acopladores

Cavity Coupler

Model: HAT0825N200-05 HAT0825N200-06 HAT0825N200-07 HAT0825N200-10
HAT0825N200-15 HAT0825N200-20 HAT0825N200-30 HAT0825N200-40

AGISSON

By RUAYE

Electrical Properties				
Model	HAT0825N200-05	HAT0825N200-06	HAT0825N200-07	HAT0825N200-10
Frequency range (MHz)	800 ~ 2500			
Coupling (dB)	5 ± 0.5	6 ± 0.5	7 ± 0.5	10 ± 1.0
Coupling pass band ripple (dB)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 2
VSWR	≤ 1.25			
Isolation between ports (dB)	≥ 25	≥ 26	≥ 27	≥ 30
Insertion loss (dB)	≤ 0.5			
Intermodulation (IM3) (dBc)	≤ -120 (C = 43 dBm carrier)			
Max. CW average power (W)	200			
Impedance (Ω)	50			
FTT (ppm / year)	500			
Mechanical Properties				
Dimensions (H x W x D) (mm) (without connector)	120 x 40 x 16.5			
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	175 x 75 x 30			
Net weight (kg)	0.22			
Packing weight (kg)	0.26			
Application scene	Indoor			
Operating temperature (°C)	-30 ~ +55			
Connector	N-Female			



HAT0825N200

Cavity Coupler

Model: HAT0825N200-05 HAT0825N200-06 HAT0825N200-07 HAT0825N200-08
HAT0825N200-15 HAT0825N200-20 HAT0825N200-30 HAT0825D200-40



Electrical Properties				
Model	HAT0825N200-15	HAT0825N200-20	HAT0825N200-30	HAT0825D200-40
Frequency range (MHz)	800 ~ 2500			
Coupling(dB)	15 ± 1	20 ± 1	30 ± 1	40 ± 1.5
Coupling portstand ripple(dB)	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 3
VSWR	≤ 1.25			
Isolation between ports(dB)	≥ 95	≥ 10	≥ 50	≥ 40
Inversion loss (dB)	≤ 0.3			≤ 0.3
Intermodulation (dBc)	≤ -120 (2 × 43 dBm carrier)			≤ -140 (2 × 43 dBm carrier)
Max CW average power (W)	200			
Impedance (ohm)	50			
FTT (ppm / year)	500			
Mechanical Properties				
Dimensions (H × W × D) (mm) (without connector)	120 × 40 × 16.5			109 × 47 × 38
Packing dimensions (H × W × D) (mm)	175 × 75 × 30			175 × 75 × 45
Net weight (kg)	0.22			0.69
Packing weight (kg)	0.25			0.71
Application scene	Indoor			
Operating temperature (℃)	-30 ~ +55			
Connector	N-Female			Input port 7-16DIN-Male Output port 7-16DIN- Female Coupling port N-Female



HAT0825D200-40

Huawei Technologies Co., Ltd. Bantian, Longgang District, Shenzhen 518129, P.R.China

www.huawei.com

Any previous datasheet issues become invalid

2


Issue: 2012-04-09



Anexo 05: Hoja técnica del cable coaxial de 1/2"

Product Data Sheet

LCF12-50J



1/2" CELLFLEX® Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

Product Description

CELLFLEX® 1/2" low loss flexible cable

Application: OEM jumpers, Man feed transitions to equipment, GPS lines

Features/Benefits

- Low Attenuation**
The low attenuation of CELLFLEX® coaxial cable results in highly efficient signal transfer in your RF system.
- Complete Shielding**
The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference.
- Low VSWR**
Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- Outstanding Intermodulation Performance**
CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermod. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- High Power Rating**
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- Wide Range of Application**
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.

Technical Features

Structure

Layer	Material	Thickness (in.)	Thickness (mm)
Inner conductor	Copper-Clad Aluminum Wire	4.8 (0.19)	
Dielectric	Foam Polyethylene	11.9 (0.47)	
Outer conductor	Corrugated Copper	13.8 (0.54)	
Jacket	Polyethylene, PE	15.8 (0.62)	

Mechanical Properties

Property	Value
Weight, approximately	0.2 (0.14) lb/ft
Minimum bending radius, single bending	70 (13) in.
Minimum bending radius, repeated bending	125 (5) in.
Bending moment	6.5 (4.79) Nm
Max. tensile force	1100 (247) N
Recommended / maximum clamp spacing	0.6 / 1 (2 / 3.25) ft

Electrical Properties

Property	Value
Characteristic impedance	50 ± 1 Ω
Relative propagation velocity	88 %
Capacitance	76 (23.2) pF/m (pF/ft)
Inductance	0.75 (0.058) μH/m (μH/ft)
Max. operating frequency	8.8 GHz
Jacket spark test RMS	8000 V
Peak power rating	30 kW
RF Peak voltage rating	1950 V
DC resistance inner conductor	1.57 (0.48) Ω/km (Ω/1000ft)
DC resistance outer conductor	2.7 (0.82) Ω/km (Ω/1000ft)

Recommended Temperature Range

Property	Range (°C / °F)
Storage temperature	-70 to 85 (-94 to 185)
Installation temperature	-40 to 60 (-40 to 140)
Operation temperature	-50 to 85 (-58 to 185)

Other Characteristics

Fire Performance: Halogen Free

VSWR Performance: Standard (dB (VSWR))

Other Options: Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.

1/2" CELLFLEX® Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100m)	Power (kW)
0.5	0.149	0.0454
1.0	0.211	0.0643
1.5	0.258	0.0786
2.0	0.298	0.0910
3.0	0.471	0.204
5.0	0.951	0.290
10	1.17	0.366
20	1.51	0.662
30	2.02	0.616
40	2.16	0.658
50	2.24	0.684
60	2.36	0.810
75	2.87	0.875
100	3.08	0.940
150	3.81	1.36
200	4.43	1.75
250	4.71	1.84
300	4.98	1.92
312	5.04	1.94
400	5.38	1.67
500	5.95	1.81
750	6.17	1.88
800	6.29	1.95
824	6.49	1.98
854	6.78	2.07
900	6.80	2.07
925	6.90	2.10
950	7.04	2.15
1000	7.20	2.19
1250	8.12	2.48
1400	8.64	2.63
1500	8.97	2.73
1700	9.61	2.93
1800	9.91	3.02
2000	10.5	3.20
2100	10.8	3.29
2200	11.1	3.38
2400	11.6	3.54
2500	11.9	3.62
2600	12.2	3.70
2700	12.4	3.78
3000	13.2	4.01
3500	14.4	4.38
4000	15.3	4.72
5000	17.6	5.37
6000	19.6	5.97
7000	21.4	6.54
8000	23.2	7.07
9000	24.6	7.49

Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature
Mean power rating at 40°C (104°F) ambient temperature

RFS The Clear Choice®
Please visit us on the internet at <http://www.rfsworld.com>

LCF12-50J

Rev: D / 15 Aug 2013


Print Date: 18.06.2014
 Radio Frequency Systems

Anexo 06: Hoja técnica del cable coaxial de 7/8"

Product Data Sheet

LCF78-50JA-A8


7/8" CELLFLEX® Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable



Product Description

CELLFLEX® 7/8" premium attenuation low-loss flexible cable

Application: Main feed line



7/8" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable

Features/Benefits

- Ultra Low Attenuation**
The further reduced attenuation of CELLFLEX® premium attenuation coaxial cable results in extremely efficient signal transfer in your RF system, especially at high frequencies.
- Complete Shielding**
The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference.
- Low VSWR**
Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- Outstanding Intermodulation Performance**
CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermod. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- High Power Rating**
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- Wide Range of Application**
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and GSM base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.

Technical Features

Structure			
Inner conductor	Copper Tube	mm (in)	6.32 (0.25)
Dielectric	Foam Polyethylene	mm (in)	25.4 (1.00)
Outer conductor	Corrugated Copper	mm (in)	25.3 (1.00)
Jacket	Polyethylene, PE	mm (in)	27.8 (1.09)

Mechanical Properties			
Weight, approx.	kg/m (lb/ft)		6.41 (0.28)
Minimum bending radius, single bending	mm (in)		120 (5)
Minimum bending radius, repeated bending	mm (in)		256 (10)
Bending moment	Nm (ft-lb)		13 (0.9)
Max. tensile force	N (lb)		1440 (324)
Repeatability / maximum clamp spacing	m (ft)		0.8 (12.15 / 3.25)

Electrical Properties			
Characteristic impedance	[Ω]		50 ± 1
Relative propagation velocity	[%]		90
Capacitance	pF/m (pF/ft)		74 (22.5)
Inductance	μH/m (μH/ft)		0.183 (0.056)
Max. operating frequency	[GHz]		5
Jacket temp. (at 90%)	[°C]		6300
Peak power (CW)	[kW]		80
RF Peak voltage rating	[kV]		2400
DC resistance inner conductor	[Ω/km] (Ω/1000ft)		1.54 (0.47)
DC resistance outer conductor	[Ω/km] (Ω/1000ft)		1.37 (0.41)

Recommended Temperature Range			
Storage temperature	[°C] (°F)		-70 to 45 (-94 to 103)
Installation temperature	[°C] (°F)		-40 to 60 (-40 to 140)
Operation temperature	[°C] (°F)		-55 to 85 (-68 to 185)

Other Characteristics

Fire Performance: Halogen Free

VSWR Performance: Maximum for 780 - 950 MHz and 1710 - 2200 MHz (VSWR) 23 (1.15)

Other Options: Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.

RFS The Clear Choice®

For more information visit our website at <http://www.rfsworld.com>

LCF78-50JA-A8

Rev: E 17.08.2013

Print Date: 19.06.2014

Radio Frequency Systems